VENTILUS
ONDERWEG MET DUURZAME ENERGIE

Gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan ‘Ventilus‘

Scopingnota 3

Vlaamse overheid
DEPARTEMENT OMGEVING

Het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan 'Ventilus' bestaat uit volgende bijlagen:

- bijlage I, het grafisch plan;
- bijlage II, de stedenbouwkundige voorschriften bij het grafisch plan.
- bijlage IIIa, de toelichtingsnota met de tekstuele toelichting;
- bijlage IIIb, de toelichtingsnota kaarten;
- bijlage IV, het register met de percelen waarop een bestemmingswijziging wordt doorgevoerd die aanleiding kan geven tot een planschadevergoeding, een planbatenheffing, een kapitaalschadecompensatie of een gebruikerscompensatie;
- bijlage V, het plan-MER, bestaande uit volgende delen:
    - deel 1: kwaliteitsbeoordeling, leeswijzer, NTS en stap 1
    - deel 2: stap 1 - kaartenbundel
    - deel 3: stap 2a
    - deel 4: stap 2b, stap 2c en stap 2d
    - deel 5: stap 2 - kaartenbundel
    - deel 6: stap 3, bijlages 1 t.e.m 4
    - deel 7: stap 3 - kaartenbundel
- bijlage VI, het ruimtelijk veiligheidsrapport;
- bijlage VII, de maatschappelijke kosten-baten analyse;
- **bijlage VIII, scopingnota 3, bestaande uit volgende delen:**
    - deel 1: tekst
    - deel 2: kaarten
    - **deel 3: bijlagen 2 - 9**
- bijlage IX, Verslag consultatie Klankbordgroep Gezondheid.

De ontwerpers

Griet DE MULDER

Christine DANIELS

GRUP Ventilus

Bijlage 2 Methodologie per MER-discipline

1 Inleiding

De algemene methodiek voor het beoordelen van de milieueffecten wordt beschreven in hoofdstuk 9 van de scopingnota. In deze bijlage wordt per planonderdeel een overzicht gegeven van de mogelijke effectgroepen die naar ingrepen worden onderzocht en de manier waarop ze in het verdere milieueffectenonderzoek nog aan bod zullen komen. Indien een bepaalde effectgroep in deze scopingfase als "**niet verder te onderzoeken**" wordt geklasseerd, wordt er gemotiveerd waarom tot die conclusie wordt gekomen (bijvoorbeeld: geen planingreep, geen kwetsbaar gebied, verwaarloosbaar te verwachten effect).

De scopinganalyse omvat zowel effecten in de aanlegfase als in de exploitatiefase. De effecten van de aanlegfase worden niet steeds behandeld in een plan-MER, gezien ze vaak tijdelijk en niet significant van aard zijn en/of de projectdetails over de (wijze van) aanleg nog niet gekend zijn (leemten in de kennis).

Tijdelijke effecten tijdens de aanlegfase worden in plan-MER's uiteraard wel onderzocht indien en voor zover ze relevant zijn, met name als de tijdelijke effecten een significante of permanente weerslag kunnen hebben op de omgeving. Ook permanente effecten die het gevolg zijn van ingrepen tijdens de aanlegfase dienen in een plan-MER onderzocht te worden (b.v. permanente schade aan grondwaterafhankelijke vegetatie door een langdurige bemaling).

De focus ligt m.a.w. op de elementen die van belang zijn voor de besluitvorming op planniveau, en omvat in concreto de effecten die kunnen leiden tot permanente negatieve gevolgen.

In §9.3.3 van de scopingnota wordt de stapsgewijze aanpak van het milieueffectenonderzoek toegelicht. Deze zal verlopen in 2 stappen, waarbij stap 1 een kwetsbaarheidsanalyse omvat van de verschillende planonderdelen. Deze stap 1 leidt tot mogelijke oplossingen om de kwetsbaarheden te vermijden of te verminderen bij het meer gedetailleerd uitwerken van het planvoornemen. In stap 2 wordt dan een effectieve milieueffectbeoordeling uitgevoerd van deze meer gedetailleerd uitgewerkte planonderdelen. Indien nodig worden in stap 2 milderende maatregelen of aanbevelingen uitgewerkt welke kunnen doorvertaald worden in het GRUP. In onderstaande hoofdstukken wordt aangegeven welke mogelijke effectgroepen verder zullen bestudeerd worden in de milieueffectbeoordeling. Alhoewel de uitgewerkte methodiek vooral van toepassing is voor stap 2 van het MER, wordt op basis van de methodiek ook aangetoond met welke criteria de kwetsbaarheidsanalyse rekening zal houden in stap 1 van het MER.

Voor sommige planonderdelen en/of effectgroepen kan het relevant zijn de mogelijke effecten te toetsen ten opzichte van zowel de feitelijke als de juridische referentiesituatie. Dit zal in onderstaande hoofdstukken toegelicht worden waar relevant.

In onderstaande scopinganalyse werd reeds rekening gehouden met de standaardmaatregelen van het plan, zoals beschreven in bijlage 8 bij de scopingnota.

Deze scopinganalyse is opgemaakt op basis van de scopinganalyse zoals deze in de startnota was opgenomen en met verdere aanvullingen en aanpassingen op basis van de publieke raadpleging/adviesvraag.

2 Aanlandingslocaties

De locaties die in beschouwing worden genomen, worden beschreven in §6.2 van de scopingnota.

Een aantal aanlandingslocaties zijn planologisch bestemd als “natuur” terwijl er ook andere locaties zijn die momenteel niet planologisch bestemd zijn. Ter hoogte van de gekozen aanlandingslocatie zal geen bestemmingswijziging doorgevoerd worden. Na de aanlegfase kan het huidig bodemgebruik hervat worden, met uitzondering van de restricties met betrekking tot de voorbehouden zone. De zone van de aanlandingslocatie zal na uitvoering van het planvoornemen nog steeds kunnen ingevuld worden volgens de geldende planologische bestemming, rekening houdende met de restricties in de voorbehouden zone (geen bebouwing en geen diepwortelende vegetatie).

2.1 Bodem

2.1.1 Eerste beoordeling

Bodemverstoring en grondstofvoorraden

Ter hoogte van de aanlandingslocatie zullen vergravingen plaatsvinden. Effecten op **bodemprofielvernietiging en verstoring** zijn relevant ter hoogte van bodems die kwetsbaar zijn voor profielvernietiging. Echter, de mogelijke aanlandingslocaties zijn allen gelegen ter hoogte van een bodem die niet gevoelig is voor profielverstoring.

Mogelijke effecten van **verdichting** kunnen verwacht worden ter hoogte van bodems die gevoelig zijn voor verdichting. Echter, de mogelijke aanlandingslocaties zijn allen gelegen ter hoogte van een bodem die niet gevoelig is voor verdichting;

De aanlanding van de kabels zal ondergrondse ingrepen vereisen. Echter in de nabije omgeving van de aanlandingslocaties zijn geen gebouwen aanwezig, waardoor er geen verhoogd risico is vanuit **zettingen** die mogelijk schade kan opleveren aan omliggende structuren. Effecten op stabiliteit van omliggende structuren worden in eerste instantie op dit planniveau verwaarloosbaar ingeschat. Indien er in de fase van uitvoering meer gedetailleerde informatie over de stabiliteit wordt verkregen en er slappere lagen zouden voorkomen, kunnen er op projectniveau steeds voorzorgen worden genomen.

Het planvoornemen heeft niet de uitbating van de ondergrond tot doel. Er zijn geen ontginningen in of grenzend aan de mogelijke aanlandingslocaties aanwezig. Er wordt geen significante impact op de **grondstofvoorraden** verwacht. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden.

Bodemkwaliteit

Gezien de aard van de voorgenomen activiteiten (aanlanden van de kabels) zijn risico’s op bodemverontreiniging in de exploitatiefase verwaarloosbaar. Tijdens de aanlegfase is een verspreiding van een (rest) verontreiniging mogelijk. Echter, de geldende wetgeving dient gevolgd te worden om dit risico tot een minimum te beperken.

O.b.v. de informatie beschikbaar op https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/maatregelen-per-gemeente en de PFAS-verkenner PFAS (vlaanderen.be) zijn er momenteel geen risicosites inzake PFAS gekend in de omgeving van de onderzochte aanlandingslocaties en zijn er geen no regret maatregelen van toepassing (raadpleging dd 12/09/2022)[1]. Mocht bij de verdere uitwerking blijken dat er toch risico’s inzake de verspreiding PFAS zouden zijn, dan zullen de nodige maatregelen cfr de sectorwetgeving genomen worden.

[1] *De PFAS-verkenner fungeert als het centraal platform waarop alle datastromen in de verschillende milieu-compartimenten gericht worden. Een traject is lopende om data systematisch te ontsluiten naarmate resultaten beschikbaar en gevalideerd zijn. Op dit ogenblik is dit nog in opbouw waardoor er geen volledigheid geboden kan worden.* ***Het niet aanwezig zijn van informatie in de PFAS-verkenner mag dus niet leiden tot de conclusie dat er geen verontreiniging aanwezig is.***

Er worden vanuit de geplande activiteiten geen permanente effecten op bodemkwaliteit verwacht. Een strikte opvolging van de wetgeving terzake maakt dat het risico op bodemverontreiniging tot een minimum wordt herleid. Deze effectgroep zal niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Bodemstabiliteit en erosie

Het voorgenomen plan voorziet geen gewijzigd bodemgebruik. Permanente reliëfwijzigingen zijn vanuit het planvoornemen eveneens niet aan de orde. Uitvoering van het planvoornemen zal het risico op bodemstabiliteit en erosie niet wijzigen. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

Erfgoedwaarde

Ter hoogte van de aanlandingslocaties tussen Oostende en Zeebrugge zijn geen bodems opgenomen in de databank waardevolle bodems en er zijn hier ook geen plaggenbodems (dit zijn bodems met een reële kans op het aantreffen van archeologische relicten) gelegen in of nabij de mogelijke aanlandingslocaties. Er worden hier geen significante effecten op waardevolle bodems verwacht.

De aanlandingslocatie te Koksijde overlapt wel met een zone die aangeduid wordt als bodemkundig erfgoed. Gezien ca. 30% tot 50% van deze kwetsbare zone potentieel kan vergraven worden, zal deze effectgroep bijgevolg nader onderzocht worden in de verdere plan-MER.

Verharding

Uitvoering van het planvoornemen gaat niet gepaard met bijkomende verharding aan de oppervlakte.

Opwarmingseffecten door warmteafgifte van de kabels

Door warmteafgifte van de ondergrondse kabels zal rondom de kabels opwarming van de bodem plaatsvinden. Afhankelijk van de warmteweerstand van de bodem kan een hogere temperatuurstijging rondom de kabels verwacht worden. Ter hoogte van de aanlandingslocatie wordt echter geen dolomietbed of een ander warmtegeleidend materiaal voorzien, gezien de bodem vanzelf zal afkoelen via het water. Er worden bijgevolg geen aanzienlijk negatieve effecten verwacht.

2.1.2 Nader te onderzoeken

De effecten werden bovenstaand voor de meeste effectgroepen in voldoende mate in beeld gebracht. De meeste effectgroepen met betrekking tot de discipline bodem zullen voor de aanlandingslocatie niet leiden tot aanzienlijk negatieve effecten. Er is voor deze effectgroepen geen nader onderzoek van de discipline bodem meer nodig in de plan-MER.

Gezien de mogelijke aanlandingslocatie te Koksijde overlapt met een bodem die aangeduid wordt als bodemkundig erfgoed, zal deze effectgroep wel besproken worden in de verdere plan-MER.

2.1.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor de zones die aangeduid worden als bodemkundig erfgoed zal de achterliggende kenmerkende bijkomende informatie opgevraagd worden via DOV Vlaanderen.

2.1.4 Methodiek effectbespreking

Een vergraving van een bodem die aangeduid wordt als bodemkundig erfgoed, wordt negatief beoordeeld, indien de zone voor een groot deel verloren gaat en dit gezien deze zones net aangeduid zijn omwille van het feit dat deze bodems uniek, zeldzaam en dus wetenschappelijk of maatschappelijk waardevol zijn. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, heeft dit geen relevante invloed op de beoordeling van deze effectgroep. De mogelijke effecten zijn immers onafhankelijk van het (feitelijke of fictieve volgens de planologische bestemming) bodemgebruik.

2.2 Water

2.2.1 Eerste beoordeling

Grondwater

Ter hoogte van de aanlandingslocatie zullen ondergrondse constructies gerealiseerd worden: o.a. voor het aansluiten van de kabels. Gezien de ligging van de aanlandingslocaties (met name ter hoogte van een strandzone, nagenoeg in aansluiting met de zee) worden geen permanent negatieve effecten op de **grondwaterstroming** verwacht, waardoor deze effectroep niet verder onderzocht zal worden in de plan-MER.

Het planvoornemen voorziet geen bijkomende verharding aan de oppervlakte ter hoogte van de aanlandingslocatie waardoor geen permanent negatieve effecten inzake **grondwaterkwantiteit** verwacht worden.

De mogelijke aanlandingslocaties zijn niet gelegen ter hoogte van of in de directe omgeving van een **grondwaterwinning voor drinkwater**[2], waardoor kan gesteld worden dat er geen effecten zullen zijn op grondwaterwingebieden door uitvoering van het planvoornemen.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een **bemaling** zal nodig zijn. Daarom werd in eerste instantie nagegaan of er kwetsbaarheden (grondwaterafhankelijke vegetatie, grondwater-vergunningen, bodems met veen in de ondergrond, kwelgebieden) voorkomen in de omgeving van de mogelijke aanlandingslocaties. Vooral ter hoogte van de mogelijke aanlandingslocatie te Zeebrugge zijn ten zuiden vegetaties gelegen die mogelijks grondwaterafhankelijk zijn (eutrofe vijvers en vochtig wilgenstruweel). Op planniveau is echter nog niet geweten hoe diep er zal moeten bemaald worden, waardoor nog geen bemalingsstraal kan bepaald worden. Er wordt echter niet verwacht dat een tijdelijke bemaling ter hoogte van elk van de mogelijke aanlandingslocaties voor permanente gevolgen zal zorgen. Er bestaan immers genoeg mogelijkheden/technieken om eventuele tijdelijke negatieve effecten op projectniveau te milderen of zelfs te voorkomen door een aangepast projectontwerp (vb. aanpassen bemalingsduur, bemalingsdiepte, aangepaste technieken (retourbemaling),..) zoals recentelijk onder meer de aanleg van de Nemo-kabelverbinding en de aanleg van de kabels voor het Modular-offshore Grid ter hoogte van Zeebrugge geïllustreerd hebben. Ter informatie wordt vermeld dat het (cfr. Vlarem) tot de standaard uitvoeringspraktijk behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Verder zal op projectniveau de optimale diepte van de boring bepaald worden om vb. doorboring van zoetwaterlenzen te vermijden en kunnen uitvoeringstechnieken (vb het plaatsen van kleistoppen) uitgewerkt worden om te vermijden dat zoetwaterlenzen verdwijnen indien ze toch zouden doorboord worden.

In de (ruime) omgeving van de voorgestelde aanlandingslocaties zijn actieve **grondwatervergunningen** gelegen. Ook hier zijn er voldoende mogelijkheden/technieken beschikbaar op projectniveau om bij een bemaling tijdens de aanlegfase mogelijke effecten te milderen of te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

- Uit bovenstaande analyse blijkt dat mogelijke effecten op de **grondwaterhuishouding en – stromen** niet zullen resulteren in permanent negatieve effecten, gezien de ligging en gezien er op projectniveau voldoende technieken beschikbaar zijn en (cfr. Vlarem) zullen toegepast worden om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen. Bijgevolg zullen deze effectgroepen niet nader besproken worden in de plan-MER.
- Met betrekking tot de **grondwaterkwaliteit** kunnen dezelfde conclusies getrokken worden als zijnde reeds aan bod gekomen onder de discipline bodem – effectgroep bodemkwaliteit.

[2] De aanlandingslocatie te Koksijde bevindt zich op ca. 630 m ten noorden van de (beschermingszone rond de) grondwaterwinning “Sint-Andries”.

Oppervlaktewater

De mogelijke aanlandingslocaties zijn niet gelegen in aansluiting met een geklasseerde waterloop, waardoor geen effecten op de **structuurkwaliteit** te verwachten zijn. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Ter hoogte van de aanlandingslocatie zal in de exploitatiefase geen bijkomende bebouwing en verharding aan de oppervlakte aanwezig zijn. Er worden bijgevolg geen effecten op **overstromingszones** verwacht.

De aanlanding gebeurt volledig ondergronds, waardoor geen effecten op de **oppervlaktewaterkwantiteit en –kwaliteit** verwacht worden.

Afvalwater

Zowel in de aanleg- als exploitatiefase wordt geen afvalwater gegenereerd. Aspecten met betrekking tot **afvalwater** worden dan ook niet verder onderzocht in de plan-MER voor wat betreft de te onderzoeken aanlandingslocaties.

2.2.2 Nader te onderzoeken

Inzake de mogelijke aanlandingslocaties worden geen permanent negatieve effecten verwacht op het watersysteem. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline water meer nodig in de plan-MER.

2.3 Biodiversiteit

2.3.1 Eerste beoordeling

Beschermde gebieden

- De aanlandingslocaties te ***Oostende, Bredene, Vossenslag, Wenduine west en Wenduine oost*** bevinden zich (volledig of gedeeltelijk) binnen het VEN-gebied 'De Middenkust' (GEN en natuurverwevingsgebied) en overlappen net met het noordelijk deel van het Habitatrichtlijngebied 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin'. Er is geen Vogelrichtlijngebied gelegen ter hoogte van of in de nabijheid van deze aanlandingslocaties.
- De aanlandingslocatie ***Zwarte Kiezel*** is binnen het VEN-gebied 'De Middenkust' gelegen en bevindt zich net ten noorden van het Habitatrichtlijngebied 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin'. Er is geen Vogelrichtlijngebied gelegen ter hoogte van of in de nabijheid van deze aanlandingslocatie.
- De aanlandingslocatie te ***Zeebrugge*** bevindt zich niet ter hoogte van een beschermd gebied. Net ten zuiden is het VEN-gebied 'De Fonteintjes en Oudemaarspolder' gelegen, evenals het Habitatrichtlijngebied 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' en het Vogelrichtlijngebied 'Poldercomplex'.
- De aanlandingslocatie te ***Koksijde*** is gelegen binnen het VEN-gebied "De Westkust" en binnen het SBZ-H "Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin".

Dit betekent dat er via een Passende Beoordeling (PB) en Verscherpte Natuurtoets zal nagegaan worden wat de mogelijke impact is van de planingrepen ter hoogte van de aanlandingslocaties op de beschermde gebieden.

De mogelijke aanlandingslocaties overlappen niet met beschermd Duinengebied, met een Vlaams of erkend natuurreservaat, met een bosreservaat of met een Ramsargebied.

Biotoopverlies of -wijziging en verlies leefgebied

De mogelijke aanlandingslocaties zijn momenteel gesitueerd ter hoogte van een strandzone. Tijdens de aanlegfase zal er mogelijks verstoring / verlies van de huidige **biotopen en/of leefgebied** voor soorten zijn. Echter, dit effect is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Voor de

aanlandingslocaties te Oostende en Bredene geldt dat het Agentschap Natuur en Bos wil inzetten op embryonale duinvorming (o.a. door machinale strandreiniging en nivellering tot een minimum te beperken). Indien deze vegetatie zich al zou ontwikkeld hebben op het moment dat de werken plaatsvinden, zal een tijdelijke verstoring plaatsvinden. Echter, het betreft vegetaties die zich spontaan en op korte termijn kunnen herstellen, waardoor geen relevante permanente effecten te verwachten zijn.

In de exploitatiefase kan het huidig bodemgebruik hervat worden en zijn er voldoende garanties dat de huidige habitats zich zullen herstellen. De beschouwde aanlandingslocaties worden immers gekenmerkt door een (momenteel) niet begroeide strandzone[3]. Er worden geen permanent negatieve effecten verwacht.

De aanlanding van de kabels veroorzaakt geen relevante of permanente stikstofdeposities, die zouden kunnen leiden tot een biotoopwijziging of een verminderde staat van instandhouding. Enkel tijdens de aanlegfase zijn stikstofemissies mogelijk. De stikstofdeposities die hiermee gepaard gaan, zullen heel beperkt zijn, zowel in tijd als in hoeveelheid. De eventuele bijdrage van dit planonderdeel ter hoogte van de habitatwaardige percelen in de nabije omgeving is dus zeer beperkt en herstelbaar. De mogelijke effecten worden besluitend als niet betekenisvol beoordeeld. Ook cumulatief voor de verschillende planonderdelen samen, worden geen betekenisvolle negatieve effecten verwacht, gezien de aanleg verspreid in de tijd en over een grote afstand zal gebeuren, waardoor de mogelijke gecumuleerde depositie ook verspreid, beperkt en herstelbaar zal zijn.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een bemaling zal nodig zijn. Echter, in de nabije omgeving van de aanlandingslocaties is geen grondwaterafhankelijke vegetatie aanwezig die gevoelig is voor verdroging. Enkel ter hoogte van Zeebrugge zijn op ruimere afstand eutrofe plassen en vochtige wilgenstruwelen gelegen. Op planniveau is niet gekend hoe ver de bemalingsstraal zal reiken. Er wordt echter niet verwacht dat een tijdelijke bemaling voor permanente gevolgen zal zorgen. Er zijn immers voldoende mogelijkheden / technieken beschikbaar om eventuele tijdelijke negatieve effecten op uitvoeringsniveau te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Deze effectgroep zal in de op te maken PB's en Verscherpte Natuurtoetsen verder onderzocht worden.

<u>Verstoring</u>

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen negatieve effecten inzake **lichtverstoring** meer verwacht.

De verstoringsgevoeligheid van een gebied voor **geluidsverstoring** is, inzake de voorkomende fauna, in belangrijke mate afhankelijk van 2 factoren, namelijk de aanwezigheid van verstoringsgevoelige soorten en de huidige verstoringsgraad van de gebieden.

Tijdens de aanlegfase kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Lokale en tijdelijke effecten kunnen beperkt worden door het nemen van passende maatregelen op uitvoeringsniveau (vb. werken met geluidsarm materieel, werken buiten het broedseizoen,…). Er worden geen permanente negatieve effecten verwacht op voorkomende populaties, de mogelijke geluidseffecten tijdens de aanlegfase zullen met andere woorden geen permanent effect hebben op de totale populatie van een soort op lange termijn. Mogelijke verstoringseffecten ten aanzien van beschermde gebieden zullen besproken worden in de nog op te maken PB's en Verscherpte Natuurtoetsen.

[3] Het is mogelijk dat de contour (iets) ruimer afgebakend is dan de effectieve benodigde ruimte tijdens de werken. Het uitgangspunt is echter wel dat er geen duinen dienen vergraven te worden en de werken op de strandzone plaatsvinden.

Tijdens de exploitatiefase worden ter hoogte van de aanlandingslocatie geen rechtstreekse geluidseffecten verwacht. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Over de effecten van **elektrische en magnetische velden** op fauna en flora is momenteel algemeen nog heel weinig gekend. De internationale literatuur over dit thema bevat heel wat onduidelijkheden en elkaar tegensprekende resultaten. Effecten voor avifauna kunnen niet worden uitgesloten, maar de inschatting van de aard (positief of negatief), grootte en de precieze gevolgen op soort- en populatieniveau moeten als een leemte in de kennis worden beschouwd. Dit potentiële effect zal dus niet verder uitgewerkt kunnen worden in de plan-MER bij gebrek aan wetenschappelijke kennis over de effecten.

Connectiviteit en migratie

Versnippering is de verdeling van ruimtelijke gehelen in kleine en/of minder samenhangende gehelen. Gezien de aanlanding van de kabels ondergronds zal gebeuren en de habitats zich ter hoogte van de aanlandingslocatie volledig kunnen herstellen, zal er geen versnippering optreden in de exploitatiefase. Ook effecten inzake **barrièrewerking** zullen niet relevant zijn. Mogelijke effecten tijdens de aanlegfase zijn tijdelijk en kunnen achteraf hersteld worden, waardoor ze niet relevant zijn op planniveau.

Deze effectgroep zal in de op te maken PB's en Verscherpte Natuurtoetsen verder onderzocht worden.

2.3.2 Nader te onderzoeken

De mogelijke impact op de aanwezige of nabij gelegen beschermde gebieden zal via een Passende Beoordeling en Verscherpte Natuurtoets verder onderzocht worden. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, heeft dit geen relevante invloed op de beoordeling van deze effectgroep. De mogelijke effecten zijn immers onafhankelijk van het (feitelijke of fictieve volgens de planologische bestemming) bodemgebruik.

2.3.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Zie methodiek opmaak Passende Beoordeling en verscherpte natuurtoets.

2.3.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

Daar de aanlandingslocaties gelegen zijn nabij Natura 2000-gebied, zal een Passende Beoordeling opgemaakt worden. Daar de aanlandingslocaties eveneens gelegen zijn nabij VEN-gebied en/of Duinengebied zal een beoordeling opgemaakt worden t.a.v. deze specifieke beschermingen.

De mogelijke inname voor het aanlanden van de zeekabels zal afgewogen worden aan de beheervoorschriften van 'NATURA 2000-gebieden' en aan de bepalingen van artikel 36ter van het Vlaamse Natuurdecreet. Volgende stappen worden hierbij doorlopen:

- Er zal worden gestart met een **uiteenzetting** van de verschillende **natuurwaarden**. Dit moet leiden tot een algemene beschrijving van de natuurwaarden ter hoogte van de aanlandingslocaties en onmiddellijke omgeving. Hier wordt aangehaald waar bepaalde opvallende waarden, knelpunten en potenties op vlak van vegetatie en fauna werden vastgesteld en wordt ook de historiek van het geheel in grote lijnen toegelicht.
- Nadien worden de verschillende **soorten** en **habitats** aangehaald die in en in de nabijheid van het studiegebied reeds werden vastgesteld en momenteel nog kunnen worden waargenomen, én dewelke opgenomen zijn binnen de richtlijnbijlagen met de verschillende beschermde soorten. Er wordt kortom in detail nagegaan of deze habitats en soorten werden vastgesteld binnen de invloedssfeer van de voorgenomen activiteit.
- In een volgende fase wordt kort nagegaan of het plan **enig verband** houdt met het beheer van het gebied met het oog op natuurbehoud.

- Vervolgens wordt nagegaan of het planvoornemen **betekenisvolle (negatieve) gevolgen** kan hebben voor de voorkomende en tot doel gestelde habitats en soorten. De vraag of er sprake is van een 'betekenisvolle' aantasting moet worden onderzocht in het licht van de staat van instandhouding van het gebied en de instandhoudingsdoelstellingen die voor het betrokken gebied zijn vooropgesteld. Bovendien moet rekening worden gehouden met cumulatieve effecten.

Wanneer VEN-gebieden een eventuele invloed van werkzaamheden kunnen hebben, dient een Verscherpte Natuurtoets opgesteld te worden i.k.v. de vergunningsaanvraag. Volgende 4 essentiële vragen worden hieromtrent op vergunningsniveau behandeld:

- Zijn er veranderingen aan de natuurwaarden ?
- Zijn de veranderingen voor de natuur nadelig ?
- Zijn deze veranderingen vermijdbaar ?
- Zijn deze veranderingen herstelbaar ?

Op planniveau zullen de mogelijke effecten ten aanzien van de voorkomende VEN-gebieden ook reeds in beeld gebracht worden.

Het duinendecreet stelt een bouwverbod in voor de beschermde gebieden. De aanlandingslocaties zijn niet gelegen binnen beschermde gebieden van het Duinendecreet.

2.4 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

2.4.1 Eerste beoordeling

Erfgoedwaarde

De te onderzoeken aanlandingslocaties zijn niet gelegen binnen een beschermd landschap of beschermd stads- of dorpsgezicht. Ten zuidwesten van Zwarte Kiezel is wel een beschermd stads- of dorpsgezicht gelegen. De aanlandingslocatie te Oostende is gelegen in de nabijheid van het Fort Napoleon, welke aangeduid wordt als beschermd landschap en beschermd monument. Alle mogelijke locaties bevinden zich binnen een landschapsatlasrelict. Het betreft een vastgesteld landschapsatlasrelict voor wat betreft de locatie te Wenduine oost. De overige aanlandingslocaties zijn gelegen binnen een landschapsatlasrelict dat is opgenomen in de wetenschappelijke inventaris. Ook zijn er in de omgeving van de verschillende aanlandingslocaties elementen gelegen die aangeduid zijn in de vastgestelde inventaris van het bouwkundig erfgoed. Echter, gezien de aanlanding volledig ondergronds aangelegd wordt en gezien het huidig bodemgebruik kan behouden blijven in de exploitatiefase en de voorkomende habitats zich na de aanlegfase kunnen herstellen, worden geen permanente effecten verwacht op deze beschermde erfgoedwaarden. Deze effectgroep zal dan ook niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Archeologisch erfgoed

De ondergrond binnen het plangebied kan beschouwd worden als bodemarchief, waar voorzichtig mee moet omgesprongen worden in functie van de potentieel archeologische waarden. Door de aanlanding van de zeekabels ter hoogte van de aanlandingslocatie komen ingrepen voor die potentieel kans hebben om archeologische waarden te verstoren of vernietigen, zoals de werkzaamheden die gepaard gaan met ingrepen in de bodem (graafwerkzaamheden). Er is dan ook een potentiële invloed te verwachten op (reeds gekend / niet gekend) archeologisch erfgoed. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan enkel met verder onderzoek worden vastgesteld. Permanente veranderingen in de grondwatertafel zouden ook een nadelig effect kunnen hebben, maar worden tengevolge van het planvoornemen evenwel niet verwacht, zie eerder.

Ter hoogte van de aanlandingslocatie is vergraving mogelijk. Hierdoor bestaat een potentiële kans op het verstoren van archeologische waarden, indien zou gegraven worden in nog niet vergraven zones of indien dieper zou gegraven worden dan in het verleden het geval was. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan echter enkel met verder onderzoek worden vastgesteld.

Sinds 1 juni 2016 is via besluit het luik archeologie van het nieuwe Onroerend erfgoeddecreet van kracht. Volgens de nieuwe regelgeving ligt het initiatief bij de ontwikkelaar/bouwheer voor de opmaak van een bij de vergunningsaanvraag toe te voegen archeologienota.

Bij verplicht archeologisch onderzoek dient er bij de stedenbouwkundige of verkavelingsvergunning een bekrachtigde archeologienota te zitten. Criteria en drempels voor deze verplichting zijn afhankelijk van ondermeer de oppervlakte van de ingreep, de ruimtelijke bestemming, de ligging binnen of buiten vastgestelde archeologische zones of beschermde archeologische site, de aard van de vergunning, de aard van de aanvrager.

Daarnaast is ook de vondstmeldingsplicht van toepassing. Iedereen die, op een ander moment dan bij het uitvoeren van een archeologisch vooronderzoek, een archeologische opgraving of het gebruik van een metaaldetector, een roerend of onroerend goed vindt waarvan hij weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat het archeologische erfgoedwaarde heeft, is verplicht daarvan binnen drie dagen aangifte te doen bij het agentschap.

Een mogelijke impact kan niet op voorhand uitgesloten worden, daarom zal deze effectgroep verder onderzocht worden in de plan-MER.

Visuele kwaliteit en landschapsstructuur

Gezien de aanlanding van de kabels ondergronds zal gebeuren, het huidig bodemgebruik kan hervat worden na de aanlegfase en de vegetatie zich ter hoogte van de aanlandingslocatie volledig kan herstellen, worden er geen permanente effecten verwacht inzake visuele kwaliteit en landschapsstructuur. Deze effectgroep zal dan ook niet nader onderzocht worden in de plan-MER.

2.4.2 Nader te onderzoeken

De effecten werden voor de meeste effectgroepen bovenstaand in voldoende mate in beeld gebracht. De mogelijke effectgroepen met betrekking tot de discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie zullen voor alle mogelijke aanlandingslocaties hoofzakelijk niet leiden tot permanent negatieve effecten. Er is voor deze effectgroepen geen nader onderzoek meer nodig in de plan-MER. De effectgroep archeologie zal echter wel nader onderzocht worden.

2.4.3 Methodiek grondig onderzoek referentie

Via desktoponderzoek (hoofdzakelijk CAI, maar ook geoloket Onroerend Erfgoed en andere beschikbare informatie) zal nagegaan worden waar er reeds gekende archeologische vondsten zijn of zones met verhoogde potenties voor archeologishe relicten in, of in de nabijheid van de te onderzoeken locaties.

2.4.4 Methodiek effectvoorspelling

De mogelijke effecten inzake verstoring van archeologische relicten zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, heeft dit geen relevante invloed op de beoordeling van deze effectgroep. De mogelijke effecten zijn immers onafhankelijk van het (feitelijke of fictieve volgens de planologische bestemming) bodemgebruik.

Tabel 2-1: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Effecten	Criterium	Methodiek	Basisbeoordeling significantie
(Potentieel) Verlies archeologisch erfgoed	Aandeel in bodemverstoring	GIS-analyse, oppervlakte van de mogelijke verstoring rekening houdend met de potentiële aanwezigheid van archeologische relicten	Effecten kunnen significant zijn wanneer archeologisch erfgoed verloren gaat

2.5 Lucht

2.5.1 Eerste beoordeling

De aanwezigheid van ondergrondse kabels ter hoogte van de aanlandingslocatie zorgt niet voor bijkomende **geleidende emissies** of **geuremissies**.

Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen verkeersemissies verwacht.

Met betrekking tot **klimaataspecten** worden evenmin permanent negatieve effecten verwacht gezien de bijkomende emissies in de exploitatiefase verwaarloosbaar zijn. Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat bijkomende duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk is. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen en dus voor een daling van verontreinigende luchtemissies.

2.5.2 Nader te onderzoeken

Inzake de aanlandingslocatie worden geen permanent negatieve effecten verwacht wat betreft de discipline lucht. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline lucht meer nodig in de plan-MER.

2.6 Geluid

2.6.1 Eerste beoordeling

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende maatregelen beschikbaar om eventuele mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode, niet werken tijdens het broedseizoen,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Tijdens de **exploitatiefase** worden ter hoogte van de aanlandingslocatie geen rechtstreekse geluidseffecten verwacht.

2.6.2 Nader te onderzoeken

Ter hoogte van de aanlandingslocatie worden geen permanent negatieve effecten verwacht wat betreft de discipline geluid. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline geluid meer nodig in de plan-MER.

2.7 Mens – ruimtelijke aspecten

2.7.1 Eerste beoordeling

Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit

De aanlanding van alle kabels samen vereist een aanééngesloten werkzone van 60 meter breed (haaks op waterlijn) en 250 meter lang (parallel met waterlijn) op het strand. Er werd dus op zoek gegaan naar locaties met een dergelijke 'vrije' zone langs de Belgische kust, waarbij zones met intensieve strandrecreatie vermeden werden[4]. Hierdoor is het logisch dat elk van de mogelijke aanlandingslocaties bestaat uit een niet bebouwde strandzone.

- ***Oostende en Bredene***: de mogelijke aanlandingslocaties te Oostende en Bredene overlappen niet met een bewaakte strandzone. Tussen de locaties Oostende en Bredene is wel een beperkte bewaakte strandzone gelegen. In de nabije omgeving van de aanlandingslocatie Oostende is de surfclub 'Ostend Sailing' gelegen. Het strand wordt bijgevolg momenteel hoofdzakelijk gebruikt door wandelaars en mogelijks ook door leden van de surfclub om de zee te bereiken.
- ***Vosseslag, Zwarte Kiezel en Wenduine west***: de mogelijke aanlandingslocaties overlappen niet met een bewaakte strandzone, aangrenzend ten westen aan de locatie Zwarte Kiezel is er wel een bewaakte strandzone gelegen. Deze strandzones worden bijgevolg momenteel hoofdzakelijk gebruikt door wandelaars.
- ***Wenduine oost***: de mogelijke aanlandingslocatie te Wenduine oost overlapt niet met een bewaakte strandzone. Het strand wordt bijgevolg momenteel hoofdzakelijk gebruikt door wandelaars.
- ***Zeebrugge***: ook deze mogelijke aanlandingslocatie overlapt niet met een bewaakte strandzone. Ten oosten van de mogelijke locatie is (het gebouw van) de surfclub Surfcity gelegen. Het strand wordt bijgevolg momenteel hoofdzakelijk gebruikt door wandelaars en mogelijks ook door leden van de surfclub om vanaf hun clubhuis te zee te bereiken.
- ***Koksijde***: de mogelijke aanlandingslocatie te Koksijde overlapt niet met een bewaakte strandzone. Het strand wordt bijgevolg momenteel hoofdzakelijk gebruikt door wandelaars.

Tijdens de aanlegfase zal de zone van de aanlandingslocatie tijdelijk niet beschikbaar zijn voor wandelaars en/of andere gebruikers. Permanente effecten inzake ruimtegebruik worden niet verwacht, gezien de aanlanding volledig ondergronds zal gebeuren en het huidige bodemgebruik na de aanlegfase kan verder gezet worden. Verder zijn er ook geen gebruiksbeperkingen voor de nabije omgeving van de mogelijke aanlandingslocaties. Tijdelijke effecten tijdens de aanlegfase zijn niet uit te sluiten. Sommige aanlandingslocaties zijn immers minder gemakkelijk bereikbaar, waardoor het niet uit te sluiten valt dat zones met intensieve strandrecreatie gekruist moeten worden in de aanlegfase. De mogelijke hinder zal hierbij tijdelijk zijn. In de exploitatiefase worden geen permanente effecten verwacht.

Ruimtebeleving - visuele hinder

De aanlanding van de kabels gebeurt volledig ondergronds. Na de aanlegfase zal de oorspronkelijke toestand (onbegroeide strandzone) zich herstellen en kan het oorspronkelijk bodemgebruik hervat worden. Er worden geen permanente effecten inzake ruimtebeleving en visuele hinder verwacht. Gezien de aanlanding volledig ondergronds gebeurt, zijn ook geen permanente effecten inzake licht-, wind- en schaduweffecten te verwachten. Ook de aspecten inzake sociale beleving en privacy zijn niet relevant in relatie tot de mogelijke aanlanding van de zeekabels.

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen negatieve

[4] Het uitsluiten van deze intensieve strandrecreatiezones berust op maatschappelijke, niet op technische knelpunten.

effecten inzake lichtverstoring meer verwacht, gezien er geen verlichting zal aanwezig zijn. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Ruimtelijke structuur en wisselwerking met de ruimtelijke context

Gezien de aanlanding van de kabels volledig ondergronds gebeurt, worden geen permanente effecten verwacht op de ruimtelijke structuur van de omgeving en de wisselwerking tussen het plan en zijn (ruimere) omgeving. Er wordt evenmin een meerwaarde gecreëerd voor de omgeving en er worden ook geen nieuwe barrières of corridors gecreëerd.

2.7.2 Nader te onderzoeken

Ter hoogte van de aanlandingslocatie worden geen permanent negatieve effecten verwacht wat betreft de discipline Mens-ruimtelijke aspecten. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline Mens-ruimtelijke aspecten meer nodig in de plan-MER.

2.8 Mens – mobiliteit

2.8.1 Eerste beoordeling

Bijkomende verkeersbewegingen zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de **aanlegfase**. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de **exploitatiefase** zijn geen verkeersbewegingen te verwachten. Effecten inzake parkeergelegenheid, verkeersveiligheid, mogelijke invloed op trage weggebruikers, recreanten,… worden niet relevant geacht op planniveau. Tijdens de aanlegfase kunnen deze effectgroepen echter wel relevant zijn, met name tijdens de aanlegfase. Er zijn voldoende mogelijkheden / technieken beschikbaar op uitvoeringsniveau om eventuele negatieve effecten te milderen of zelfs volledig te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

2.8.2 Nader te onderzoeken

Inzake de aanlandingslocaties worden geen permanent negatieve effecten verwacht wat betreft de discipline mens-mobiliteit. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline mobiliteit meer nodig in de plan-MER.

2.9 Mens - hulpbronnen

2.9.1 Eerste beoordeling

Impact op oppervlaktedelfstoffen is reeds onder de discipline bodem-grondstofvoorraden beschouwd.

- Er wordt geen significante impact op de **grondstofvoorraden** verwacht. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden.

Het voorgenomen plan heeft niet de productie/hergebruik van afvalstoffen tot doel en er wordt geen water gebruikt in de exploitatiefase.

Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat de hernieuwbare energie van bijkomende offshore windparken op zee kan aanlanden en bijgevolg praktisch bruikbaar wordt. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen.

2.9.2 Nader te onderzoeken

Binnen de discipline Mens-hulpbronnen zijn geen effectgroepen nader te onderzoeken in de plan-MER. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig.

2.10 Mens-gezondheid

2.10.1 Eerste beoordeling

Geluidsverstoring

Zie ook §0, discipline Geluid.

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Mogelijke effecten kunnen beperkt worden door het nemen van passende maatregelen op projectniveau (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode, werken buiten broedseizoen,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Tijdens de **exploitatiefase** worden ter hoogte van de aanlandingslocatie geen rechtstreekse permanente geluidseffecten verwacht. Permanent negatieve effecten worden niet verwacht.

Lucht

Zie ook § 2.5, discipline Lucht.

De werken tijdens de aanlegfase kunnen verkeersemissies veroorzaken. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase zijn geen verkeersemissies te verwachten. Permanent negatieve effecten worden niet verwacht.

Wijziging EM-velden

Door de aanleg van ondergrondse kabels zullen de waarden van de magnetische velden in de omgeving ervan wijzigen. Elektrische velden worden afgeschermd door de kabels. Voor magnetische velden zal er wel blootstelling zijn na de aanleg. Er bevinden zich echter geen woningen of kwetsbare locaties (scholen en kinderopvangvoorzieningen) in de nabijheid van de te onderzoeken aanlandingslocaties waardoor aspecten inzake wijziging in EM-velden niet relevant zijn. Er kan immers geen langdurige[5] blootstelling zijn aan de magnetische velden van deze ondergrondse kabels.

Wel kunnen er psychosomatische effecten optreden.

2.10.2 Nader te onderzoeken

Ter hoogte van de te onderzoeken aanlandingslocaties dienen geen effectgroepen nader onderzocht te worden wat betreft Mens –gezondheid in de plan-MER. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. De mogelijke psychosomatische effecten zullen voor het volledige planvoornemen samen onderzocht worden. Er wordt verwezen naar § 3.10.

[5] Langdurig komt overeen met minstens gedurende één jaar elke dag gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 μT

2.11 Klimaat

Door uitvoering van het planvoornemen vindt geen permanente aanzienlijke biotoopinname plaats. Het planvoornemen heeft daarnaast ook geen bepalende of aanzienlijke impact op de grondwatervoorraden.

De aanlandingslocaties bevinden zich niet ter hoogte van overstromingsgevoelig gebied volgens de watertoetskaart 2017. Uiteraard zijn deze locaties wel gevoelig voor overstromingen vanuit de zee. Echter, er wordt geen bijkomende bebouwing of verharding voorzien, waardoor een invloed op overstromingszones niet verwacht wordt, zowel direct als indirect. Er liggen geen signaalgebieden ter hoogte van de onderzochte aanlandingslocaties. Het planvoornemen heeft ter hoogte van de aanlandingslocaties geen aanzienlijke impact op het ontwikkelen van nieuwe overstromingsgevoelige zones.

Om overstromingen vanuit zee te voorkomen, wordt er gestreefd naar een minimum veiligheidsniveau in onze zeewering. Ter hoogte van de aanlandingslocaties te Oostende en Wenduine werd respectievelijk in 2014 en 2012 reeds een strandsuppletie uitgevoerd in uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid. Daarnaast werden in Wenduine in 2015 kustverdedigingswerken uitgevoerd, met name aanpassingswerken aan de dijk, ter bescherming tegen een 1000-jarige storm en werden er stormmuren gebouwd op de Oosteroever te Oostende. In de toekomst zullen wellicht nog maatregelen genomen worden langs de Vlaamse Kust in kader van kustverdediging naar aanleiding van verwachte klimaatsveranderingen. Bijkomende strandsuppleties ter hoogte van de mogelijke aanlandingslocaties kunnen uitgevoerd worden, zolang de kabels niet dieper dan 8 m onder het maaiveld komen te liggen. Het planvoornemen hypothekeert dus geen toekomstige strandsuppleties. Een mogelijke suppletie bovenop een zone waar kabels werden aangelegd, heeft wel tot gevolg dat de bereikbaarheid van de kabels in het gedrang komt in geval van calamiteiten.

Het planvoornemen is niet van die aard (o.a. geen bijkomend verkeer) dat er een relevante impact op broeikasgassen wordt verwacht. Het planvoornemen maakt indirect de realisatie van bijkomend duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk. Een positieve impact wordt niet op bovenlokaal niveau verwacht. In de disciplines die nog verder worden onderzocht, wordt tevens de klimaatreflex op lokaal niveau toegepast.

In de plan-MER zal een hoofdstuk klimaat toegevoegd worden die het effect van het totale planvoornemen zal beoordelen.

2.12 Veiligheid

Eens de kabels vanuit de zee aangeland zijn, wordt de duinenzone gekruist via een horizontaal gestuurde boring. Dit betekent dat de kabels hier op een grotere diepte zullen gelegen zijn en fysiek niet bereikbaar zijn. In het theoretische (en in praktijk onmogelijke) geval dat een kabel toch bereikbaar zou zijn voor recreanten, is deze niet doorboorbaar door normale acties (vb. steken met een schop) door de fysieke bescherming rond de kabel. Er kan bijgevolg geoordeeld worden dat er ter hoogte van de aanlandingslocatie geen aanzienlijke effecten te verwachten zijn inzake veiligheid ten opzichte van recreanten.

Voor de aspecten veiligheid in relatie tot klimaatwijzigingen, wordt verwezen naar de discipline klimaat.

In de plan-MER zal een hoofdstuk veiligheid toegevoegd worden die het effect van het totale planvoornemen zal beoordelen.

3 Tussenstation Oostende - hoogspanningsstation TBD – conversiestation MOG II – aanpassing station Stevin – uitbreiding station Gezelle - uitbreiding en deels herbestemming bestaand station Izegem

De locaties die momenteel in beschouwing worden genomen voor de locatie van het tussenstation in Oostende of de locatie TBD, worden beschreven in §6.3 van de scopingnota. Samengevat dient er een nieuw hoogspanningsstation TBD en een nieuw conversiestation aangelegd te worden. In de noordelijke variant 10 wordt er ook een nieuw tussenstation te Oostende voorzien. Verder is er een uitbreiding noodzakelijk van het station van Izegem, zal een beperkte zone van het bestaand HS-station te Izegem binnen agrarisch gebied een gepaste bestemming krijgen en zijn er aanpassingen noodzakelijk aan het station van Stevin. Bij de meeste varianten is tenslotte ook een uitbreiding van het station van Gezelle nodig.

3.1 Bodem

3.1.1 Eerste beoordeling

Bodemverstoring en grondstofvoorraden

Het aanleggen of uitbreiden van een station zal telkens gepaard gaan met vergravingen en bijkomende verharding. Effecten op **bodemprofielvernietiging en verstoring** zijn relevant ter hoogte van bodems die kwetsbaar zijn voor profielvernietiging.

- ***Stevin***: de mogelijke locatie omvat poelgronden en dekklei: dit bodemtype is kwetsbaar voor profielverstoring;
- ***De Spie***: deze mogelijke locatie omvat nagenoeg uitsluitend antropogene bodems, dewelke niet gevoelig zijn voor profielverstoring;
- ***Herdersbrug***: de aanwezige kreekruggen ter hoogte van deze mogelijke locatie zijn gevoelig voor profielverstoring;
- ***Plassendale***: de bodems ter hoogte van de mogelijke locatie bestaan voornamelijk uit schorgronden dewelke kwetsbaar zijn voor profielverstoring en antropogene bodems;
- ***Vaartblekerstraat***: de bodem ter hoogte van de mogelijke locatie bestaat uit antropogene bodems, dewelke weinig kwetsbaar zijn voor profielverstoring;
- ***Biekorfstraat***: de bodem ter hoogte van de mogelijke locatie bestaat uit antropogene bodems, dewelke weinig kwetsbaar zijn voor profielverstoring;
- ***Izegem***: zowel de zone waar het bestaande station zou worden uitgebreid als de zone waar ter hoogte van het bestaand station een herbestemming voorzien wordt zijn gelegen ter hoogte van een vochtige zandleembodem met profielontwikkeling ‘c’, welke matig gevoelig is voor profielvernietiging;
- ***Koksijde***: deze locatie bestaat nagenoeg volledig uit kreekruggronden, welke als gevoelig worden beschouwd.
- ***Veurne***: deze locatie bestaat nagenoeg volledig uit kreekruggronden, welke als gevoelig worden beschouwd. In het zuidoosten zijn ook poelgronden gelegen welke eveneens als kwetsbaar worden beschouwd.

Gezien een aantal van de te onderzoeken locaties gelegen zijn ter hoogte van bodems met gevoelige profielen, en gezien een eventuele profielverstoring ter hoogte van hoogspanningsstations voor een permanent effect zal zorgen, zal deze effectgroep verder onderzocht worden in de plan-MER.

Mogelijke effecten van **verdichting** kunnen verwacht worden ter hoogte van bodems die gevoelig zijn voor verdichting. Echter, gezien de zone van het station in de exploitatiefase volledig verhard of bebouwd zal zijn, zijn effecten inzake verdichting hier niet relevant. Verdichting kan zich echter ook voordoen in de werkstrook. Na de aanlegfase wordt het oorspronkelijk bodemgebruik hier hersteld, waardoor effecten mogelijk wel van belang zijn. Echter, om mogelijke effecten inzake verdichting in de werfzone te beperken tot een verwaarloosbaar effect, zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op projectniveau (vb. gebruik van rijplaten, machines op rupsbanden, afgraven van teelaarde ter hoogte van de werfdepots en aanbrengen van een bitumendoek met daarop steenslag,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Diepe omvangrijke ondergrondse constructies (zoals aaneengesloten parkeergarages e.d.m.) worden er niet voorzien, kleinere ondergrondse constructies zijn wel mogelijk. Ten gevolge van de uitvoering van grondwerken wordt geen verhoogd risico vanuit **zettingen** die mogelijk schade kan opleveren aan omliggende structuren verwacht.

Effecten op stabiliteit van omliggende structuren worden in eerste instantie op dit planniveau verwaarloosbaar ingeschat. Indien er in de fase van uitvoering meer gedetailleerde informatie over de stabiliteit wordt verkregen en er toch slappere lagen zouden voorkomen, zijn er op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om gepaste voorzorgen te nemen, zodat mogelijke effecten kunnen herleid worden tot een verwaarloosbaar tot beperkt negatief effect. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Het planvoornemen heeft niet de uitbating van de ondergrond tot doel. Er zijn geen ontginningen in of grenzend aan de mogelijke locaties voor het realiseren of uitbreiden van hoogspanningsstations aanwezig. Er wordt geen significante impact op de **grondstofvoorraden** verwacht. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

<u>Bodemkwaliteit</u>

Binnen een straal van 500m rondom beschouwde mogelijke locaties zijn reeds meerdere dossiers gekend in de OVAM-databank:

- ***Stevin***: meerdere oriënterende bodemonderzoeken in de omgeving van de mogelijke locatie;
- ***De Spie***: meerdere oriënterende bodemonderzoeken in de omgeving van de mogelijke locatie;
- ***Herdersbrug***: ten zuiden van deze mogelijke locatie werd reeds een bodemsaneringsproject uitgevoerd en werd er een eindevaluatiedossier opgemaakt;
- ***Plassendale***: meerdere oriënterende bodemonderzoeken ter hoogte van en in de nabije omgeving van de mogelijke locatie, 1 beschrijvend bodemonderzoek op korte afstand en 1 perceel waar reeds een eindverklaring werd voor opgemaakt op korte afstand;
- ***Vaartblekerstraat***: ter hoogte van deze mogelijke locatie werd reeds een bodemsaneringsproject uitgevoerd en werd er een eindevaluatiedossier opgemaakt. Op de percelen grenzend aan deze locatie werden meerdere beschrijvende bodemonderzoeken uigevoerd;
- ***Biekorfstraat***: ter hoogte van deze mogelijke locatie werd reeds een bodemsaneringsproject uitgevoerd. Op de percelen grenzend aan deze locatie werden meerdere beschrijvende bodemonderzoeken uigevoerd;
- ***Izegem***: meerdere oriënterende bodemonderzoeken ter hoogte van en in de omgeving van het bestaande hoogspanningsstation (incl. het westelijk deel van de voorziene uitbreiding en de zone van het bestaand station waar een herbestemming voorzien wordt);

- ***Koksijde:*** binnen deze zoekzone werden tot op heden (2020) nog geen bodemonderzoeken uitgevoerd. Er werd wel een beschrijvend bodemonderzoek uitgevoerd ter hoogte van het bestaand HS-station ten noorden van de zoekzone. In het zuidwesten grenst de zoekzone aan een perceel waar reeds een eindevaluatiedossier werd opgesteld.
- ***Veurne:*** in het noordwesten werd binnen de zoekzone op 1 perceel reeds een oriënterrend bodemonderzoek uitgevoerd.

O.b.v. de informatie beschikbaar op https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/maatregelen-per-gemeente en de PFAS-verkenner PFAS (vlaanderen.be) blijkt dat er binnen of in de omgeving van de zoekzone te Oostende en Noord-Brugge locaties zijn waar preventief no regret maatregelen van toepassing zijn (raadpleging dd 12/09/2022)[6]. Mocht bij de verdere uitwerking blijken dat er toch risico's inzake de verspreiding PFAS zouden zijn, dan zullen de nodige maatregelen cfr de sectorwetgeving genomen worden.

Tijdens de aanlegfase is een verspreiding van een (rest) verontreiniging mogelijk. Echter, de geldende wetgeving dient gevolgd te worden en er zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om dit risico tot een minimum te beperken. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Gezien de aard van de activiteiten (hoogspanningsstation) en de standaardmaatregelen die voorzien zijn in het plan (zie bijlage 8 bij de scopingnota) zijn risico's op bodemverontreiniging in de exploitatiefase verwaarloosbaar. Bij calamiteiten kan er wel transformatieolie lekken. Bij de uitvoeringsfase wordt hier rekening mee gehouden, door onder meer een vloeistofdichte inkuiping te voorzien onder de transformatoren, zodat een impact vermeden wordt, mocht een calamiteit zich voordoen.

Er worden vanuit de geplande activiteiten dan ook geen permanente negatieve effecten op bodemkwaliteit verwacht. Een strikte opvolging van de wetgeving terzake maakt dat het risico op bodemverontreiniging tot een minimum wordt herleid.

<u>Bodemstabiliteit en erosie</u>

Het voorgenomen plan voorziet een gewijzigd bodemgebruik. Grote reliëfwijzigingen zijn vanuit het planvoornemen echter niet aan de orde. Plaatselijk zal de vegetatie wel wijzigen en is het mogelijk dat er beperkt een nivellering/ophoging van het terrein plaatsvindt (om het risico op overstromingen te beperken). Verder zal er voldaan worden aan de wetgeving inzake buffering en infiltratie, waardoor geen grote hoeveelheden bijkomend afstromend hemelwater wordt verwacht.

Ook zijn de landbouwpercelen ter hoogte van en in de omgeving van de te onderzoeken locaties voor het hoogspanningsstation op de potentiële erosiegevoeligheidskaart ingekleurd als percelen met een zeer lage of verwaarloosbare erosiegevoeligheid.

Rekening houdend met de aard van het planvoornemen / de potentiële ingrepen (zoals vegetatiewijziging en vergraving) en het gegeven dat er in en nabij de te onderzoeken locaties geen gronden gevoelig voor erosie of grondverschuiving voorkomen, kan er redelijkerwijze worden geconcludeerd dat er geen significante effecten t.a.v. erosie zullen optreden (en dus zeker ook geen aanzienlijke effecten). Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

---

[6] *De PFAS-verkenner fungeert als het centraal platform waarop alle datastromen in de verschillende milieu-compartimenten gericht worden. Een traject is lopende om data systematisch te ontsluiten naarmate resultaten beschikbaar en gevalideerd zijn. Op dit ogenblik is dit nog in opbouw waardoor er geen volledigheid geboden kan worden.* ***Het niet aanwezig zijn van informatie in de PFAS-verkenner mag dus niet leiden tot de conclusie dat er geen verontreiniging aanwezig is.***

Erfgoedwaarde

Er zijn geen bodems opgenomen in de databank waardevolle bodems en er zijn geen plaggenbodems (dit zijn bodems met een reële kans op het aantreffen van archeologische relicten) gelegen in of nabij de te onderzoeken locaties voor het hoogspanningsstation.

Verharding

Uitvoering van het planvoornemen gaat gepaard met bijkomende verharding. Mogelijke effecten hiervan hebben vooral betrekking op grondwater (wijziging infiltratie en run off) en oppervlaktewater (mogelijk bijkomend risico op overstromingen) en worden bijgevolg besproken onder de discipline Water.

3.1.2 Nader te onderzoeken

De effecten werden bovenstaand voor de meeste effectgroepen voldoende mate in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is voor deze effectgroepen geen nader onderzoek van de discipline bodem meer nodig in de plan-MER. De effectgroep profielverstoring zal wel verder onderzocht worden in de plan-MER, gezien er ter hoogte van hoogspanningsstations permanente profielverstoring kan optreden.

3.1.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld. Wat betreft de beschrijving van het bodemprofiel zal gebruik gemaakt worden van de bodemkaart van Vlaanderen.

3.1.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten inzake profielvernietiging zullen in de plan-MER onderzocht worden door de MER-deskundige Bodem. Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

Tabel 3-1: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Bodem

Effecten	Criterium	Methodiek	Basisbeoordeling significantie
Profielverstoring	Afsluiten of afsnijden van diepere profielen	Op basis van de geologische kaarten en opbouw in het gebied wordt de kwetsbaarheid ingeschat	Het verstoren/vernietigen van lagen is significant wanneer kwetsbare bodems zoals veenbodems, plaggenbodems (m), podzolbodems (f,g,h), duinen (zeer kwetsbaar) worden doorsneden (profielontwikkeling p=niet relevant; profielontwikkelingen overige=beperkt kwetsbaar) . In reeds verharde / bebouwde delen is dit effect niet relevant.

De significantie wordt dan verder gespecificeerd a.h.v. de omvang van het effect. Aangezien het om een plan-MER gaat, zullen weinig of geen concrete cijfers beschikbaar zijn en gebeurt de effectbeoordeling op kwalitatieve wijze d.m.v. expert judgement, zoals aangegeven in het MER-richtlijnenboek bodem en waar mogelijk rekening houdend met potentiële oppervlakten die worden ingenomen.

3.2 Water

3.2.1 Eerste beoordeling

Grondwater

Uitvoering van het planvoornemen kan aanleiding geven tot het realiseren van ondergrondse constructies: bijvoorbeeld voor het aansluiten van de kabels. De mogelijke effecten zijn afhankelijk van het ontwerp van het hoogspanningsstation. Gezien op planniveau nog geen kennis is over het concrete ontwerp van het hoogspanningsstation, is dit effect niet te begroten op planniveau. Ervaring met andere hoogspanningsstations leert dat ondergrondse constructies er beperkt blijven tot een maximale diepte van ca. 4m onder het maaiveld. Voor alle locaties geldt echter dat ondergrondse constructies beperkt in omvang zullen zijn en dat de grondwatervoerende laag niet volledig zal afgesloten worden. Het grondwater zal lokaal naast of onder een eventueel ondergrondse constructie kunnen (blijven) stromen, waardoor er geen permanente relevante negatieve effecten op de **grondwaterstroming** worden verwacht. Deze effectroep zal niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Het planvoornemen voorziet bijkomende verharding van niet verharde zones. Gezien in de hoogspanningsstations maximaal gebruik gemaakt wordt van halfverhardingen (waterdoorlatende grind) en het afstromend water van de wegenis naast de wegen kan infiltreren, zal de ruimte die nodig is voor infiltratie en buffering van hemelwater eerder beperkt zijn. Onder andere binnen een zone voor visuele integratie kunnen de noodzakelijke voorzieningen aangelegd worden. De geldende regelgeving inzake infiltratie en buffering van hemelwater zal gevolgd worden, waardoor geen permanente relevante effecten inzake **grondwaterkwantiteit** verwacht worden.

De mogelijke locaties voor het hoogspanningsstation zijn niet gelegen ter hoogte van of in de directe omgeving van een **grondwaterwinning voor drinkwater**, waardoor kan gesteld worden dat er geen effecten zullen zijn door uitvoering van het planvoornemen.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een tijdelijke **bemaling** zal nodig zijn. Op voorhand kan een bemaling van meerdere weken in een kwetsbaar gebied niet uitgesloten worden. Dit kan mogelijks voor negatieve effecten zorgen (vb. op de voorkomende vegetatie, op eventuele grondwaterwinningen, inzake verstoring van het zoet/zout evenwicht, op bodems met veen in de ondergrond).

- ***Stevin***: ter hoogte van deze locatie en in de omgeving zijn poelgronden gelegen, wat betekent dat er veen in de ondergrond aanwezig is, ter hoogte van deze locatie en in de nabije omgeving zijn vergunde grondwaterwinningen gelegen, de locatie is gelegen ter hoogte van een verzilt gebied, ter hoogte van deze locatie en in de nabije omgeving is grondwaterafhankelijke vegetatie gelegen;
- ***De Spie***: ter hoogte van deze locatie en in de nabije omgeving zijn vergunde grondwaterwinningen gelegen, het zuidelijk deel is gelegen ter hoogte van een verzilt gebied, in de omgeving bevindt zich beperkt grondwaterafhankelijke vegetatie;
- ***Herdersbrug***: in de nabije omgeving zijn geen vergunde grondwaterwinningen gelegen, de locatie bevindt zich ter hoogte van een verzilt gebied, in de omgeving bevindt zich geen grondwaterafhankelijke vegetatie;
- ***Plassendale***: in de nabije omgeving zijn geen grondwatervergunningen gelegen, de locatie bevindt zich ter hoogte van een verzilt gebied, in de nabije omgeving van deze locatie bevinden zich geen grondwaterafhankelijke vegetaties.
- ***Vaartblekerstraat***: in de omgeving is 1 grondwatervergunning gelegen, de locatie bevindt zich ter hoogte van een verzilt gebied, in de nabije omgeving van deze locatie bevinden zich geen grondwaterafhankelijke vegetaties;
- ***Biekorfstraat***: in de nabije omgeving zijn geen grondwatervergunningen gelegen, de locatie bevindt zich ter hoogte van een verzilt gebied, in de nabije omgeving van deze locatie bevinden zich geen grondwaterafhankelijke vegetaties;

- ***Izegem***: in de nabije omgeving zijn vergunde grondwaterwinningen gelegen, de locatie bevindt zich niet ter hoogte van een verzilt gebied, in de omgeving bevindt zich geen grondwaterafhankelijke vegetatie;
- ***Koksijde***: binnen deze locatie en in de nabije omgeving ervan zijn vergunde grondwaterwinningen gelegen, vooral het oostelijk deel wordt gekenmerkt door verzilt grondwater op geringe diepte, binnen en in de nabije omgeving van deze zoekzone bevindt zich beperkt grondwaterafhankelijke vegetatie;
- ***Veurne***: binnen deze locatie en in de nabije omgeving ervan zijn vergunde grondwaterwinningen gelegen, vooral het oostelijk deel wordt gekenmerkt door verzilt grondwater op geringe diepte, binnen en in de nabije omgeving van deze zoekzone bevindt zich beperkt grondwaterafhankelijke vegetatie.

Op planniveau is nog niet geweten of er bemaald zal moeten worden, en indien wel, hoe diep (en hoelang) er zal moeten bemaald worden, waardoor nog geen bemalingsstraal kan bepaald worden. Er wordt echter niet verwacht dat een tijdelijke bemaling ter hoogte van elk van de mogelijke locaties voor permanente gevolgen zal zorgen. Er bestaan immers genoeg mogelijkheden/technieken om eventuele tijdelijke negatieve effecten op uitvoeringsniveau voldoende te milderen of zelfs te voorkomen door een aangepast projectontwerp (vb. aanpassen bemalingsduur, bemalingsdiepte, aangepaste technieken (retourbemaling),..), zoals recentelijk ook gebleken is bij de aanleg van het hoogspanningsstation Stevin. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Binnen en in de nabije omgeving zijn mogelijks actieve grondwatervergunningen gelegen. Ook hier zijn bij een bemaling tijdens de aanlegfase voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten voldoende te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota). Na het stopzetten van de bemaling zal de oorspronkelijke grondwaterstand zich herstellen en zullen zich geen significante effecten voordoen ten aanzien van de vergunde grondwaterwinningen.

- Uit bovenstaande analyse blijkt dat mogelijke effecten op de **grondwaterhuishouding en –stromen** niet zullen resulteren in aanzienlijke effecten, gezien op uitvoeringsniveau voldoende milderende maatregelen kunnen en zullen genomen worden. Bijgevolg zullen deze effectgroepen niet nader besproken worden in de plan-MER.
- Met betrekking tot de **grondwaterkwaliteit** kunnen dezelfde conclusies getrokken worden als zijnde reeds aan bod gekomen onder de discipline bodem – effectgroep bodemkwaliteit. Bijkomend kan opgemerkt worden dat indien er tijdens een bemaling een risico zou zijn op het aantrekken van een restverontreiniging, er bij het volgen van de bestaande wetgeving voldoende garanties zijn dat hierdoor geen aanzienlijk negatieve effecten te verwachten zijn.

<u>Oppervlaktewater</u>

De beschouwde locaties voor de hoogspanningsstations zijn nagenoeg allen gelegen in aansluiting met een geklasseerde waterloop en de uitbreiding te Izegem overlapt mogelijks met een waterloop, waardoor mogelijke effecten op de **structuurkwaliteit** op voorhand niet uit te sluiten zijn. Deze effectgroep zal bijgevolg verder onderzocht worden in de plan-MER.

- ***Stevin***: de waterlopen Graaf Jansader en St. Jansader ter hoogte van deze mogelijke locatie worden aangeduid als waterlopen met een waardevolle structuurkwaliteit. Een deel van de Lisseweegsevaart en de Lange Smalle Watergang worden aangeduid als waterloop met een zeer zwakke structuurkwaliteit;

- ***De Spie***: ter hoogte van deze locatie zijn waterlopen gelegen die aangeduid worden als waterlopen met een waardevolle structuurkwaliteit, waaronder een deel van de Lisseweegsevaart;
- ***Herdersbrug***: deze locatie wordt in het westen begrensd door de Zijdelingse Vaart (ecotypologie werd niet bepaald) en in het oosten door het kanaal Brugge-Zeebrugge (zeer zwakke structuurkwaliteit).
- ***Plassendale***: het kanaal van Gent naar Oostende wordt aangeduid als waterloop met een zeer zwakke structuurkwaliteit.
- ***Vaartblekerstraat***: geen waterloop aanwezig in de nabije omgeving.
- ***Biekorfstraat***: het kanaal van Gent naar Oostende wordt aangeduid als waterloop met een zeer zwakke structuurkwaliteit.
- ***Izegem***: ten westen van het huidige station stroomt de Masteneikbeek (waterloop van 2de categorie). Afhankelijk van het precieze ontwerp van de uitbreiding, zal deze waterloop al dan niet binnen het plangebied gelegen zijn.
- ***Koksijde***: op de zuidelijke grens van deze mogelijke locatie loopt het Langgeleed, welke wordt aangeduid als waterloop met een matige tot zwakke structuurkwaliteit. Verder stroomt er centraal in deze zoeklocatie een niet benoemde waterloop van noord naar zuid waarvan de ecotypologie niet bepaald werd. In het westen is het Noordduinengeleed gelegen. Ook hiervan werd de ecotypologie niet bepaald. Binnen deze zoekzone zijn daarnaast nog meerdere kleinere waterlopen, grachten en sloten gelegen.
- ***Veurne***: de Proosdijkvaart stroomt in het westen van deze zoekzone op de zuidelijke grens en snijdt in het oosten de zoekzone middendoor. Deze waterloop wordt aangeduid als waterloop met een waardevolle structuurkwaliteit. Het Doornleed in het westelijke deel van de zoekzone, is een rechtgetrokken waterloop en heeft een zeer zwakke structuurkwaliteit. Binnen deze zoekzone zijn verder weinig kleine waterlopen, grachten of sloten gelegen, met uitzondering van enkele baangrachten.

Het aanleggen van een hoogspanningsstation gaat gepaard met bijkomende bebouwing en verharding. Gezien de installaties ter hoogte van een hoogspanningsstation niet bestand zijn tegen overstromingen en een overstroming de uitschakeling van het volledige station zou kunnen veroorzaken (met bijkomende gevolgen voor de stabiliteit van het Belgische hoogspanningsnet), zal het maaiveld van het station daarom steeds iets hoger genomen worden dan de omliggende terreinen zodat de kans op overstroming van de elektrische installaties zo klein mogelijk wordt.

De bijkomende verhardingen en het feit dat het maaiveld zal opgehoogd worden, kunnen potentieel een invloed uitoefenen op **overstromingszones** in de omgeving. Echter, er zal maximaal gebruik gemaakt worden van halfverhardingen (zie bijlage 8 bij de scopingnota) en er zal voldaan worden aan de wetgeving inzake opvang, buffering en infiltratie van hemelwater, waardoor geen aanzienlijke effecten worden verwacht (de nodige ruimte hiervoor kan gevonden worden binnen de zone voor visuele integratie). Daarbij zijn de te onderzoeken locaties voor het hoogspanningsstation niet gelegen ter hoogte van overstromingsgevoelig gebied, met uitzondering van 1 locatie te Zeebrugge (aansluitend aan het station Stevin). Deze locatie is volgens het gewestplan gedeeltelijk gelegen binnen een zone voor gemeenschapsvoorzieningen en openbaar nut, waardoor deze zone momenteel ook al verhard kan worden (mits overstromingsvrij bouwen en/of compensatie voor inname overstromingsgebied) en een deel van het station hier binnen deze bestemming kan gerealiseerd worden zonder bestemmingswijziging. Uitvoering van het planvoornemen wijzigt dit niet. Echter, op planniveau dient nagegaan te worden of het wel opportuun is om dit gebied de invulling te geven volgens de geldende bestemming. Daarnaast zal er ook een gedeeltelijke inname van het naastgelegen landbouwgebied nodig zijn. Er dient eveneens opgemerkt te worden dat deze locatie ook deels gelegen is ter hoogte van een signaalgebied, wat betekent dat er ook een **verscherpte watertoets** moet opgemaakt worden. Hiermee rekening houdende, zal de effectgroep oppervlaktewaterhuishouding ook verder onderzocht worden in de plan-MER.

Er zijn geen permanent negatieve effecten op de **oppervlaktewaterkwaliteit** te verwachten. Bij eventuele lozing van bemalingswater, dient steeds voldaan te worden aan de sectorwetgeving.

Afvalwater

Per station wordt een toilet voorzien dat deel uitmaakt van één van de gebouwen. Het huishoudelijk afvalwater afkomstig van dit toilet met bijhorende handwasbak, wordt afgevoerd conform de reglementering voor lozing van afvalwater. Dit betekent dat daar waar kan aangesloten worden op de riolering, dit ook zo zal gebeuren. In zones die niet zijn aangeduid op het zoneringsplan of in zones die gelegen zijn in een individueel te optimaliseren gebied, zullen op uitvoeringsniveau de nodige maatreglen genomen worden om te voldoen aan de wetgeving (vb. voorzien van een IBA). Het hemelwater wordt gescheiden afgevoerd van het afvalwater. De voorgenomen activiteiten gaan niet gepaard met het lozen van industrieel afvalwater.

Uit bovenstaande blijkt dat er geen permanente negatieve effecten verwacht worden ter hoogte van elk van de mogelijke locaties voor de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation inzake afvalwater. Er zijn ook geen permanent negatieve effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit te verwachten.

3.2.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zijn nader te onderzoeken:

- Effecten op structuurkwaliteit;
- Effecten op de oppervlaktewaterhuishouding.

3.2.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie in de plan-MER, baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld (desktop informatie); de effecten worden beoordeeld op planniveau; er worden geen veldanalyses, detailinventarisaties of veldwerkzaamheden uitgevoerd.

Voor de bespreking van de structuurkwaliteit en de ecologische waarde van de waterlopen zal in stap 1 van het MER verwezen worden naar het "Onderzoek naar de verspreiding en de typologie van ecologisch waardevolle waterlopen in het Vlaamse Gewest" (Bervoets L. & Schneiders A., 1990-1995)[7]. In stap 2 van het MER zal voor de weerhouden locatie(s) een beperkte terreinverkenning worden uitgevoerd waarbij de bestaande gegevens geactualiseerd zullen worden indien van toepassing.

3.2.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten inzake structuurkwaliteit en oppervlaktewaterhuishouding zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Water. Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

[7] In stap 1 van het plan-MER is het de bedoeling om kwetsbaarheden in beeld te brengen en aan te geven of bepaalde locaties te veel of te grote kwetsbaarheden bevatten, waarbij er geen effectieve maatregelen bestaan om deze kwetsbaarheden te vermijden of te beperken. Inzake structuurkwaliteit kan gesteld worden dat mogelijke effecten makkelijk kunnen vermeden worden. Dit zal verduidelijkt worden in het MER. Daarom worden er ter hoogte van de beschouwde locaties in stap 1 geen bijkomende gedetailleerde inventarisaties uitgevoerd inzake de structuurkwaliteit van de voorkomende waterlopen. Er zal met andere woorden geen enkele locatie aangeduid worden als zijnde te kwetsbaar inzake structuurkwaliteit van de voorkomende waterlopen.

Tabel 3-2: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Water

Effecten	Criterium	Methodiek	Basisbeoordeling significantie
Wijziging structuur-kwaliteit	Permanente invloed op structuurkwaliteit	Op basis van lokalisatie van waterloopzones met waardevolle structuurkwaliteit	Effecten zijn significant als waardevolle structuur van de waterlopen kan wijzigen of indien ruimte wordt ingenomen die belangrijk is voor het potentieel herstel/bestendigen van de structuurkwaliteit
Wijziging oppervlaktewater-kwantiteit en huishouding	Wijziging aanvoer waterloop ten gevolge van run-off	Wijziging ruimte voor overstromingswater.	Effect is significant negatief wanneer bergingsruimte (volume en oppervlakte) wordt ingenomen zonder oplossing en significant positief wanneer ruimte voor overstromingswater wordt gecreëerd.

3.3 Biodiversiteit

3.3.1 Eerste beoordeling

Beschermde gebieden

- ***Stevin***: de locatie in aansluiting met het huidige station is gelegen nabij of overlapt met Habitat- en Vogelrichtlijngebied en VEN-gebied (afhankelijk van de specifieke omvang van een mogelijk station);
- ***De Spie***: er is geen overlap met beschermde gebieden. In de nabijheid bevindt zich een deelgebied van het SBZ-H “Polders”;
- ***Herdersbrug***: er is geen overlap met beschermde gebieden. In de nabijheid bevindt zich een deelgebied van het SBZ-V “Poldercomplex”;
- ***Plassendale***: er zijn geen beschermde gebieden in en in de ruime omgeving van deze mogelijke locatie voor het hoogspanningsstation gelegen;
- ***Vaartblekerstraat***: er zijn geen beschermde gebieden in en in de ruime omgeving van deze mogelijke locatie voor het hoogspanningsstation gelegen;
- ***Biekorfstraat***: er zijn geen beschermde gebieden in en in de ruime omgeving van deze mogelijke locatie voor het hoogspanningsstation gelegen;
- ***Izegem***: er is geen overlap met beschermde gebieden, in de ruime omgeving bevinden zich evenmin beschermde gebieden;
- ***Koksijde***: er is geen overlap met beschermde gebieden, in de ruime omgeving (ten noorden van de zoekzone) zijn het VEN-gebied “De Westkust”, het Vogelrichtlijgebied “De Westkust” en het Habitatrichtlijngebied “Duingebieden inclusief Ijzermonding en Zwin” gelegen. Deze zoekzone grenst in het noorden ook aan een zone die beschermd is volgens het Duinendecreet;
- ***Veurne***: er is geen overlap met beschermde gebieden, in de ruime omgeving bevinden zich evenmin beschermde gebieden.

Er kan besloten worden dat een mogelijke negatieve invloed op beschermde gebieden niet op voorhand kan uitgesloten worden. Bijgevolg zullen mogelijke negatieve effecten van het

planvoornemen ten aanzien van de voorkomende Natura 2000-gebieden en VEN-gebieden in en in de ruime omgeving van de mogelijke locaties voor de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation in een Passende Beoordeling en Verscherpte Natuurtoets besproken worden.

De zoekzones voor de aanleg/uitbreiding van een hoogspanningsstation overlappen niet met beschermd Duinengebied, met een natuurreservaat of met een Ramsargebied.

Biotoopverlies of -wijziging en verlies leefgebied

Onderstaand worden de belangrijkste biologische waarden ter hoogte van de mogelijke locaties voor het hoogspanningsstation beschreven op basis van de BWK versie 2.

- ***Stevin***: De mogelijke locatie is nagenoeg volledig aangeduid als biologisch (zeer) waardevol: weilandcomplex met veel sloten en/of microreliëf en met relicten van halfnatuurlijke graslanden, bermen, perceelsranden, … met elementen van rietland, min of meer brakke plas, zeebiesvegetatie en schorre.
- ***De Spie***: In het noorden van de mogelijke locatie zijn verschillende biologisch waardevolle elementen gelegen zoals weilandcomplex met veel sloten en/of microreliëf en met relicten van halfnatuurlijke graslanden en bermen, perceelsranden, … met elementen van rietland.
- ***Herdersbrug***: deze locatie wordt aangeduid als biologisch minder waardevol opgehoogd terrein;
- ***Plassendale***: ter hoogte van de mogelijke locatie bevinden zich volgens de BWK2 geen waardevolle vegetaties.
- ***Vaartblekerstraat***: volgens de BWK2 bevindt zich hier beperkt een zone die aangeduid wordt als biologisch waardevolle ruigte;
- ***Biekorfstraat***: het grootste deel van deze locatie wordt ingenomen door biologisch minder waardevolle percelen, al zijn er bepaalde zones die als (zeer) waardevol worden aangeuid, waaronder de vijvers en de rietkragen.
- ***Izegem***: de beoogde uitbreiding is gesitueerd ter hoogte van biologisch minder waardevolle landbouwpercelen.
- ***Koksijde***: het grootste deel van deze zoekzone wordt ingenomen door biologisch minder waardevolle percelen. Verspreid over de zoekzone worden KLE's aangeduid als (zeer) waardevol, waaronder rietkragen en bomenrijen.
- ***Veurne***: het grootste deel van deze zoekzone wordt ingenomen door biologisch minder waardevolle percelen. In het oosten bevinden zich twee waardevolle graslanden en ook de bermen van de E40 worden aangeduid als waardevol.

De aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation impliceert een definitieve ruimte-inname, met mogelijk het verdwijnen van waardevolle habitats en/of leefgebieden voor fauna tot gevolg. Het mogelijke **biotoopverlies en/of verlies aan leefgebieden voor fauna** zal bijgevolg verder besproken worden in de plan-MER.

Tijdens de aanlegfase kunnen effecten van bodemverstoring zorgen voor een **biotoopwijziging**. Vooral soorten van natte milieus zijn zeer gevoelig voor betreding en verdichting van de bodem. Deze vegetatietypes zijn immers afhankelijk van de lokale abiotiek en door vergraving kan dit milieu lokaal gewijzigd worden, waardoor het herstel van deze vegetaties gehypothekeerd wordt. Mogelijke effecten zijn enkel relevant ter hoogte van de werkstrook (gezien de ruimte-inname ter hoogte van het station als definitief biotoopverlies wordt beschouwd). Er zijn echter genoeg technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau die mogelijke effecten voldoende kunnen milderen of zelfs voorkomen (vb. gebruik van rijplaten, machines op rupsbanden, afgraven van teelaarde ter hoogte van de werfdepots en aanbrengen van een bitumendoek met daarop steenslag,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaardmaatregelen (van het plan) behoort om deze

technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Door de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation worden geen relevante of permanente **stikstofdeposities** verwacht, die zouden kunnen leiden tot een biotoopwijziging of een ongunstige staat van instandhouding. Enkel tijdens de aanlegfase zijn stikstofemissies mogelijk. De stikstofdeposities die hiermee gepaard gaan, zullen heel beperkt zijn, zowel in tijd als in hoeveelheid. De bijdrage van dit planonderdeel ter hoogte van de habitatwaardige percelen in de nabije omgeving is zeer beperkt en herstelbaar. Daarnaast kan verwezen worden naar de dalende trend in NOx emissies. Deze is het gevolg van reeds beslist beleid en van technologische en maatschappelijke evoluties en zal zich nog doorzetten in de toekomst door recente beleidsbeslissingen van de Vlaamse Regering. Er kan dus verwacht worden dat de achtergrondconcentratie wat betreft NOx in de toekomst nog zal dalen, waardoor de eventuele heel beperkte (tot verwaarloosbare) negatieve effecten ten gevolge van het planvoornemen zich zal herstellen door een daling van de achtergrondconcentratie. De mogelijke effecten worden besluitend als niet betekenisvol beoordeeld. Een evaluatie ten gronde zal uitgevoerd worden i.f.v. de vergunningsaanvraag.

Ook cumulatief voor de verschillende planonderdelen samen, worden geen betekenisvol negatieve effecten verwacht, gezien de aanleg verspreid in de tijd en over een grote afstand zal gebeuren, waardoor de mogelijke gecumuleerde depositie ook verspreid, beperkt en herstelbaar zal zijn.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een tijdelijke bemaling zal nodig zijn. Een **bemaling** van meerdere weken kan een negatieve invloed hebben op kwetsbare vegetaties in de omgeving. Er zijn echter genoeg technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau die mogelijke effecten voldoende kunnen milderen of zelfs voorkomen (zie hoger). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaardmaatregelen (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

<u>Verstoring</u>

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen permanent negatieve effecten inzake **lichtverstoring** verwacht. Ter hoogte van de stations is wel verlichting aanwezig om ’s nachts te kunnen werken in geval van een interventie. In het kader van de veiligheid zal de verlichting eveneens werken indien de camerabeveiliging ongewenste activiteit detecteert binnen de omheining van het hoogspanningsstation. Echter, deze verlichting staat niet standaard aan en wordt dus maar occasioneel gebruikt. Hierdoor worden er geen permanente effecten op (potentieel) voorkomende lichtverstoringsgevoelige fauna (waaronder vleermuizen) verwacht. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden.

De verstoringsgevoeligheid van een gebied voor **geluidsverstoring** is, inzake de voorkomende fauna, in belangrijke mate afhankelijk van 2 factoren, namelijk de aanwezigheid van verstoringsgevoelige soorten en de huidige verstoringsgraad van de gebieden.

Tijdens de aanlegfase kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn echter genoeg technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau die mogelijke effecten voldoende kunnen milderen of zelfs voorkomen en welke standaard zullen worden toegepast (vb. werken met geluidsarm materieel, werken starten buiten het broedseizoen,…), waardoor op planniveau geen relevante permanente effecten verwacht worden.

Afhankelijk van de geluidsproductie van het hoogspanningsstation kan eveneens verstoring tijdens de exploitatiefase optreden welke een mogelijke impact kan hebben op de voorkomende (avi)fauna. Bijgevolg zal deze effectgroep kwalitatief verder onderzocht worden.

Over de effecten van **elektrische en magnetische velden** op dieren is momenteel nog heel weinig gekend. De internationale literatuur over dit thema bevat heel wat onduidelijkheden en elkaar tegensprekende resultaten. Effecten voor (avi)fauna kunnen niet worden uitgesloten, maar de inschatting van de aard (positief of negatief), grootte en de precieze gevolgen op soort- en populatieniveau worden als een leemte in de kennis beschouwd. Dit potentiële effect zal dus niet

verder uitgewerkt kunnen worden in de plan-MER bij gebrek aan wetenschappelijke kennis over de effecten.

Connectiviteit en migratie

Versnippering is de verdeling van ruimtelijke gehelen in kleine en/of minder samenhangende gehelen. De belangrijkste effecten van habitatfragmentatie zijn enerzijds de oppervlaktereductie van de ontstane habitatfragmenten en anderzijds de toename van ruimtelijke isolatie. Een ecologisch belangrijk aspect hierbij is de relatieve toename van de hoeveelheid randhabitat t.o.v. kernhabitat. Randeffecten bepalen in sterke mate de kwaliteit van het resterende habitatfragment.

Gezien de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation gepaard gaat met inname van openruimte gebied, kan versnippering niet op voorhand uitgesloten worden. Ook kan de aanleg of uitbreiding van een station een (bijkomende) **barrière** betekenen voor migrerende soorten. Hierdoor is het op voorhand niet uit te sluiten dat (sub)populaties van 1 soort in de toekomst niet meer met elkaar in verbinding zouden staan, waardoor genetische uitwisseling niet meer mogelijk zou zijn.

Afhankelijk van de concrete uitvoering (afmetingen,…) en lokale omstandigheden (bestaande openheid van het landschap en aanwezigheid visuele verstoringsbronnen) kan er **visuele hinder** (verstoringseffect) optreden door de aanwezigheid van het hoogspanningsstation in het landschap. Onderzoek heeft immers aangetoond dat de openheid van het landschap een zeer belangrijke factor blijkt te zijn bij de aanwezigheid en verspreiding van overwinterende ganzen en verschillende soorten weidevogels tijdens het broedseizoen. De openheid is voor deze soorten van belang om niet plots verrast te worden door predatoren of mensen.

Deze effectgroep zal in de plan-MER verder onderzocht worden.

3.3.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen verder onderzocht worden in de plan-MER:

- Mogelijke effecten op beschermde gebieden;
- Biotoopverlies en/of verlies aan leefgebied voor fauna;
- Geluidsverstoring tijdens de exploitatiefase;
- Effecten inzake connectiviteit en migratie.

3.3.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor de beschrijving van de bestaande natuurwaarden zal beroep gedaan worden op bestaande desktopinformatie, aangevuld met een terreinbezoek op maat. Binnen deze gebieden worden de waardevolle vegetaties en bijzondere flora- en fauna-elementen kort aangegeven. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van bestaande gegevens zoals biologische waarderingskaart, databanken, de afbakening Natura 2000 gebieden en eventuele instandhoudingsdoelstellingen, ecologische visies, de afbakening van VEN-gebieden. Er wordt algemeen geen gedetailleerd veldonderzoek of veldinventarisaties nodig geacht. Een algemeen terreinbezoek is wel voorzien.

Verder zal ook nagegaan worden (waar relevant en mogelijk) wat de potenties van deze zones zijn om zich te ontwikkelen tot een waardevol gebied en in hoeverre de te herbestemmen zones actueel of potentieel een functie (kunnen) vervullen in het ecologisch netwerk (verbindingsgebied).

3.3.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten zullen in de plan-MER onderzocht worden door de MER-deskundige Biodiversiteit. Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

De bespreking inzake ecotoopverlies zal hoofdzakelijk kwalitatief gebeuren op basis van de BWK versie 2 en een verkennend terreinbezoek ter hoogte van de meest waardevolle zones.

Tabel 3-3: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Biodiversiteit

Effecten	Criterium	Methodiek	Basisbeoordeling significantie
Direct Biotoopverlies/ Winst en verlies leefgebied	Grootteorde aan oppervlakte waardevol gebied (voor fauna en/of flora) dat zal verdwijnen of gecreëerd worden Verlies/winst vegetatie door inname	GIS-analyse, terreinbezoek oppervlakte waardevolle biotooptypes die mogelijk rechtstreeks dreigen aangetast te worden ten gevolge van de invulling van het plan of die hierdoor worden beschermd. Op planniveau is het hoofdzakelijk relevant om kwetsbaarheden inzake biotoopwijziging op te merken en hierover indien mogelijk GRUP-verfijningen voor op te stellen	Effecten zijn significant wanneer waardevolle biotopen verloren gaan of gecreëerd worden. Volgens BWK: • biologisch zeer waardevol, biologische waardevol, complex van waardevolle en zeer waardevolle elementen = zeer kwetsbaar • complex van minder waardevolle en waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en zeer waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en waardevolle tot zeer waardevolle elementen = matig kwetsbaar • biologisch minder waardevol = weinig kwetsbaar De significantie wordt dan verder gespecificeerd a.d.h.v. de potentiële omvang van het effect in relatie tot de omgeving, de context en de plaats. Uiteindelijke beoordeling gebeurt op basis van expert judgement.
Versnippering/ ontsnippering en barrière-effecten	Lokalisatie zones die gevoelig zijn voor versnippering en barrière-effecten.	Bespreking o.b.v kwetsbaarheidsbenadering en expert judgement MER-deskundige.	Effecten zijn significant wanneer de versnippering/ ontsnippering de verspreiding van soorten beïnvloedt.
Rustverstoring	Kwetsbare soorten die beïnvloed kunnen worden door rustverstoring,	Globale inschatting (eerder een kwalitatieve kwetsbaarheids-benadering)	Kwalitatieve bespreking, effecten zijn significant wanneer de verstoring ervoor zorgt dat de populatie achteruitgaat.

Daar ten gevolge de realisatie of uitbreiding van een hoogspanningsstation een beïnvloeding van kwetsbare en beschermde gebieden of de hier voorkomende soorten niet op voorhand uit te sluiten valt, zal een Passende Beoordeling en Verscherpte Natuurtoets opgemaakt worden.

De mogelijke inname voor de aanleg of uitbreiding van de stations zal afgewogen worden aan de beheervoorschriften van 'NATURA 2000-gebieden' en aan de bepalingen van artikel 36ter van het Vlaamse Natuurdecreet. Volgende stappen worden hierbij doorlopen:

- Er zal worden gestart met een **uiteenzetting** van de verschillende **natuurwaarden**. Dit moet leiden tot een algemene beschrijving van de natuurwaarden ter hoogte van de potentiële locaties en onmiddellijke omgeving. Hier wordt aangehaald waar bepaalde opvallende waarden, knelpunten en potenties op vlak van vegetatie en fauna werden vastgesteld en wordt ook de historiek van het geheel in grote lijnen toegelicht.
- Nadien worden de verschillende **soorten** en **habitats** aangehaald die in en in de nabijheid van het studiegebied reeds werden vastgesteld en momenteel nog kunnen worden waargenomen, én dewelke opgenomen zijn binnen de richtlijnbijlagen met de verschillende beschermde soorten. Er wordt kortom in detail nagegaan of deze habitats en soorten werden vastgesteld binnen de invloedssfeer van de voorgenomen activiteit.
- In een volgende fase wordt kort nagegaan of het plan **enig verband** houdt met het beheer van het gebied met het oog op natuurbehoud.
- Vervolgens wordt nagegaan of het planvoornemen **betekenisvolle (negatieve) gevolgen** kan hebben voor de voorkomende en tot doel gestelde habitats en soorten. Er zal met andere woorden een aftoetsing gebeuren ten aanzien van de goedgekeurde instandhoudingsdoelen.

Wanneer VEN-gebieden een eventuele invloed van werkzaamheden kunnen hebben, dient een verscherpte natuurtoets opgesteld te worden in kader van de vergunningsaanvraag. Volgende 4 essentiële vragen worden hieromtrent op uitvoeringsniveau behandeld:

- Zijn er veranderingen aan de natuurwaarden ?
- Zijn de veranderingen voor de natuur nadelig ?
- Zijn deze veranderingen vermijdbaar ?
- Zijn deze veranderingen herstelbaar ?

Op planniveau zullen de mogelijke effecten ten aanzien van de voorkomende VEN-gebieden ook reeds in beeld gebracht worden.

Het duinendecreet stelt een bouwverbod in voor de beschermde gebieden van het Duinendecreet. De zoekzones voor de aanleg/uitbreiding van een hoogspanningsstation zijn niet gelegen binnen beschermde gebieden van het Duinendecreet.

3.4 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

3.4.1 Eerste beoordeling

Erfgoedwaarde

De te onderzoeken zoekzones voor de aanleg of uitbreiding van een station zijn niet gelegen binnen een landschapsatlasrelict, beschermd landschap of beschermd stads- of dorpsgezicht, met uitzondering van de locatie in aansluiting met het bestaande station Stevin welke wel in een landschapsatlasrelict (wetenschappelijke inventaris) gelegen is. Er zijn evenmin beschermde monumenten gelegen in of in de nabije omgeving van de te onderzoeken locaties binnen de beschouwde zoekzones (voor zover afgebakend). Er zijn wel elementen gelegen in of in de nabije omgeving van de zoekzones of specifieke locaties binnen de zoekzone (indien gekend) die aangeduid zijn in de vastgestelde inventaris van het bouwkundig erfgoed.

- ***Locatie Stevin***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed en gelegen binnen het landschapsatlasrelict 'Oudemaarspolder';
- ***Locatie De Spie***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed binnen de mogelijke locatie;

- ***Locatie Herdersbrug***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed in de ruime omgeving van de mogelijke locatie;
- ***Locatie Plassendale***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed nabij de mogelijke locatie;
- ***Locatie Vaartblekerstraat***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed in de ruime omgeving van de mogelijke locatie;
- ***Locatie Biekorfstraat***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed nabij de mogelijke locatie;
- ***Locatie Izegem***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed in de omgeving van de mogelijke locatie;
- ***Zoekzone Koksijde***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed binnen en in de omgeving van de mogelijke locatie;
- ***Zoekzone Veurne***: aanwezigheid van bouwkundig erfgoed binnen en in de omgeving van de mogelijke locatie.

Op planniveau kan het dus noodzakelijk zijn om ter hoogte van bepaalde zoekzones/locaties een voldoende brede bufferstrook af te bakenen om mogelijke negatieve effecten te milderen. Daarom zal deze effectgroep mee onderzocht worden in de plan-MER.

Archeologisch erfgoed

De ondergrond binnen het plangebied kan beschouwd worden als bodemarchief, waar voorzichtig mee moet omgesprongen worden in functie van de potentieel archeologische waarden. Door de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation komen ingrepen voor die potentieel kans hebben om archeologische waarden te verstoren of vernietigen, zoals de werkzaamheden die gepaard gaan met ingrepen in de bodem (graafwerkzaamheden). Er is dan ook een potentiële invloed te verwachten op (reeds gekend / niet gekend) archeologisch erfgoed. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan enkel met verder onderzoek worden vastgesteld. Permanente veranderingen in de grondwatertafel zouden ook een nadelig effect kunnen hebben, maar worden tengevolge van het planvoornemen evenwel niet verwacht.

Er zijn geen bodems opgenomen in de databank waardevolle bodems. Er zijn ter hoogte van de mogelijke locaties voor de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation geen zones aangeduid als ‘gebied waar geen archeologie te verwachten is’. Er zijn evenmin ‘archeologische sites’ beschermd of ‘archeologische zones’ vastgesteld.

Door uitvoering van het planvoornemen/GRUP is vergraving mogelijk. Hierdoor bestaat een potentiële kans op het verstoren van archeologische waarden, indien zou gegraven worden in nog niet vergraven zones of indien dieper zou gegraven worden dan in het verleden het geval was. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan echter enkel met verder onderzoek worden vastgesteld.

Sinds 1 juni 2016 is via besluit het luik archeologie van het nieuwe Onroerend erfgoeddecreet van kracht. Volgens de nieuwe regelgeving ligt het initiatief bij de ontwikkelaar/bouwheer voor de opmaak van een bij de vergunningsaanvraag toe te voegen archeologienota.

Bij verplicht archeologisch onderzoek dient er bij de stedenbouwkundige of verkavelingsvergunning een bekrachtigde archeologienota te zitten. Criteria en drempels voor deze verplichting zijn afhankelijk van ondermeer de oppervlakte van de ingreep, de ruimtelijke bestemming, de ligging binnen of buiten vastgestelde archeologische zones of beschermde archeologische site, de aard van de vergunning, de aard van de aanvrager.

Daarnaast is ook de vondstmeldingsplicht van toepassing. Iedereen die, op een ander moment dan bij het uitvoeren van een archeologisch vooronderzoek, een archeologische opgraving of het gebruik van een metaaldetector, een roerend of onroerend goed vindt waarvan hij weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat het archeologische erfgoedwaarde heeft, is verplicht daarvan binnen drie dagen aangifte te doen bij het agentschap. De Vlaamse Regering kan de nadere regels daarvoor bepalen.

Een mogelijke impact kan niet op voorhand uitgesloten worden, daarom zal deze effectgroep verder onderzocht worden in de plan-MER.

Visuele kwaliteit en landschapsstructuur

Na uitvoering van het planvoornemen zal er een nieuw hoogspanningsstation en een nieuw conversiestation gerealiseerd zijn, al dan niet met een tussenstation. Verder zal de bestaande post te Izegem uitgebreid zijn en zullen er (mogelijks) ook aanpassingen/uitbreidingen aan de bestaande stations te Gezelle en Stevin zijn.

Rekening houdend met de mogelijke omvang van de gebouwen ter hoogte van deze stations, kan een landschappelijke impact niet op voorhand uitgesloten worden. Er kunnen zowel effecten op het landschapsbeeld als effecten op de landschapsstructuur optreden. In het planvoornemen is een landschappelijke integratie voorzien door de opmaak van een landschapsvisie. Mogelijke effecten zullen in de plan-MER nader onderzocht worden.

3.4.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen in de plan-MER verder onderzocht worden:

- Effecten op bouwkundig erfgoed en voorkomende Landschapsatlasrelicten;
- Potentiële effecten op archeologisch erfgoed;
- Effecten inzake visuele kwaliteit en landschapsstructuur.

3.4.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich in eerste instantie op volgende bronnen:

- Vastgestelde inventarissen;
- Wetenschappelijke inventarissen;
- CAI;
- Geoportaal Onroerend Erfgoed;
- Landschapskenmerkenkaart.

Er zal ook gekeken worden of er relevante info kan overgenomen worden uit de opgemaakte landschapsstudie.

3.4.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie. Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

De ingrepen die de landschappelijke situatie veranderen bestaan in essentie uit het toevoegen van nieuwe elementen en het wijzigen of verwijderen van bestaande elementen. Het wijzigen van elementen wordt onderverdeeld in wijzigingen met betrekking tot de toestand en functie enerzijds en het voorkomen of uitzicht anderzijds.

De verschillende mogelijke effecten worden gegroepeerd volgens de verschillende invalshoeken van de discipline: **erfgoedaspecten, landschapsstructuur en perceptieve aspecten** (landschapsbeeld).

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom enerzijds steunen op objectieve criteriawaarden en anderzijds steunen op onderzoek met betrekking tot invloed op omgevingsfactoren, perceptie en gedrag.

Tabel 3-4: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Landschap (structuur- en relaties)	Invloed op geografische en geomorfologische structuren	Mate van impact op waterlopen, vegetatiewijzigingen, wijzigingen in gradiënten of openheid van het landschap, reliëfwijzigingen enz.	Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement. Een effect is significant wanneer een waardevolle landschapsstructuur positief of negatief wordt beïnvloedt.
Erfgoedwaarde invloed op landschappelijke erfgoedwaarden	Invloed op beschermde cultuurhistorische landschappen Rechtstreekse of onrechtstreekse aantasting landschappelijke erfgoedrelicten	Rechtstreekse aantasting Voorkomen en directe beïnvloeding of afstand Beïnvloeding context: kwalitatief (inpassing erfgoed in nieuwe infrastructuur)	Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement Voorstellen naar het GRUP
Erfgoedwaarde invloed op bouwkundig erfgoed	Rechtstreekse of onrechtstreekse aantasting bouwkundig erfgoed	Rechtstreekse aantasting Voorkomen en directe beïnvloeding of afstand Beïnvloeding context: kwalitatief (inpassing erfgoed in nieuwe infrastructuur)	Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement Voorstellen naar het GRUP
Landschapsbeeld en –beleving/ Perceptieve kenmerken	Visuele impact/ belevingswaarde (wijziging in landschapsbeleving) visuele barrièrevorming	toename/afname van de interne ruimtelijke kwaliteit. Beschrijvend, zonder diepgang in architecturale kwaliteit en omgevingsaanleg. Wijziging transparantiegraad en kijkafstand. Terreinfoto's, relatie met omgeving	Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement Een effect is significant wanneer omwonenden, recreanten nadrukkelijke wijzigingen kunnen ondervinden wanneer waardevolle zichten veranderen in minder waardevolle zichten of wanneer niet waardevolle zichten wijzigen in waardevolle zichten.
(Potentieel) Verlies archeologisch erfgoed	Aandeel in bodemverstoring	GIS-analyse, oppervlakte van de mogelijke verstoring rekening houdend met de potentiële aanwezigheid van archeologische relicten	Effecten kunnen significant zijn wanneer archeologisch erfgoed verloren gaat

3.5 Lucht

3.5.1 Eerste beoordeling

Door de aanwezigheid of uitbreiding van hoogspanningsstations zijn geen bijkomende **geleidende emissies of geuremissies** te verwachten.

In een hoogspanningsstation wordt geen elektriciteit geproduceerd. In de GIS-installaties zal evenwel SF6-gas aanwezig zijn dat bij calamiteiten kan vrijkomen. Dit gas is niet giftig maar werkt als een broeikasgas. Gezien het vrijkomen van dit gas enkel bij uitzonderlijke situaties het geval kan zijn, wordt dit niet als een relevant effect beschouwd.

Elia werkte namelijk een specifiek investerings- en onderhoudsbeleid uit om het risico op SF6- lekken te beperken (zie ook bij het aspect veiligheid). De constructeurs moeten o.a. een zeer streng maximaal lekpercentage garanderen voor de hele levensduur van de installaties. Het onderhoudsbeleid streeft naar een minimum van manipulaties op de met SF6-gas gevulde compartimenten.

Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen.

Met betrekking tot **klimaataspecten** worden evenmin aanzienlijk negatieve effecten verwacht gezien de bijkomende emissies in de exploitatiefase verwaarloosbaar zijn. Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat bijkomende duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk is. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen en dus voor een daling van verontreinigende emissies.

3.5.2 Nader te onderzoeken

Inzake de te realiseren hoogspanningsstations worden geen permanent negatieve effecten verwacht wat betreft de discipline lucht. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet rechtstreeks leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline lucht meer nodig in de plan-MER.

3.6 Geluid

3.6.1 Eerste beoordeling

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Op uitvoeringsniveau zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode, niet werken tijdens het broedseizoen,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk van het plan behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat er geen relevante effecten verwacht worden van de geluidsemissies tijdens de aanlegfase (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Ter hoogte van hoogspanningsstations zullen geluidsbronnen aanwezig zijn in de **exploitatiefase**. Momenteel is de geluidsemissie van de hoogspanningsstations niet te bepalen omdat de opbouw, lay-out en type installaties nog niet voldoende zijn gekend. Voornamelijk transfo's, spoelen en condensatoren, ventilatoren en verluchtingsroosters in gebouwen zijn de mogelijke geluidsbronnen. Belangrijk is al aan te geven dat een groot deel van de installaties in gebouwen worden voorzien of ommuurd zullen worden. Ook de uitstralingsrichting, de te nemen milderende maatregelen inzake geluidsisolatie van wanden en daken en de afstand van elke individuele bron ten opzichte van het immissiepunt speelt een belangrijk rol. Vermits dit allemaal nog niet gekend is, is het bijgevolg onmogelijk om een specifieke bijdrage te bepalen of te berekenen.

Er kan wel verwezen worden naar de standaardmaatregelen van het plan om geluidsemissies te beperken (zie bijlage 8 van de scopingnota). Verder kan er ook (indicatief) verwezen worden naar de project-MER "380 kV Hoogspanningsverbinding Zomergem – Zeebrugge", waar ook nieuwe hoogspanningsstations waren voorzien en waar (op projectniveau) wel geluidsmodelleringen werden uitgevoerd. Hieruit bleek dat zonder het nemen van milderende maatregelen de limietwaarden werden overschreden ter hoogte van de meest nabije woningen. Door het optrekken van geluidsschermen kon wel aan de limietwaarden voldaan worden.

Door de installaties gedeeltelijk te ommuren of door gebouwen rond delen van installaties te plaatsen, is het dus mogelijk om de geluidsniveaus te beperken tot de maximaal toelaatbare waarden volgens Vlarem. Nieuwe inrichtingen dienen immers sowieso altijd te voldoen aan de VLAREM-normen. Dit zal dan ook het geval zijn voor het project Ventilus.

In het plan-MER zal voor de locaties van het hoogspanningsstation ingeschat worden hoe hoog de waarde van het achtergrondgeluid 's nachts bedraagt en hoe groot de toename bedraagt door het realiseren van een hoogspanningsstation, ervan uitgaand dat de VLAREM-norm gerespecteerd wordt.

Geluidsproductie kan een verstoring voor fauna en mens veroorzaken. In de omgeving van de te onderzoeken locaties/zoekzones voor het hoogspanningsstation bevinden zich zowel vogel- en habitatrichtlijngebieden en VEN-gebieden en in beperktere mate ook woningen/woonwijken. De mogelijke effecten op fauna en mens, zullen respectievelijk in de disciplines biodiversiteit en mens-gezondheid beoordeeld worden.

3.6.2 Nader te onderzoeken

De mogelijke toename van het geluidsniveau in de omgeving van de mogelijke locaties voor een hoogspanningsstation zal verder onderzocht worden in het plan-MER.

3.6.3 Methodiek grondig onderzoek van de referentiesituatie

Het huidige achtergrondgeluid in de omgeving van de mogelijke locaties voor een hoogspanningsstation wordt afgeleid van de MIRA-geluidskaarten voor wegverkeer, zoals beschikbaar op Geopunt, en eventuele andere bestaande bronnen zoals geluidsstudies in andere MER's. De meest kritische periode is daarbij 's nachts, omdat het achtergrondgeluid hier het laagst zal zijn, terwijl de hoogspanningsstations een volcontinu geluid produceren. Deze aanpak wordt gebruikt, omdat een opmeting van het achtergrondgeluid in alle alternatieve locaties niet realistisch is. De MIRA-geluidskaarten geven een idee van het achtergrondgeluid (veroorzaakt door wegverkeer), echter de gehanteerde parameter Lnight is een gewogen LAeq-waarde en deze zal steeds hoger liggen dan de waarde van LA95,1h (dewelke gebruikt wordt om het oorspronkelijke omgevingsgeluid te karakteriseren). Praktisch gezien wijzigt dit niets aan de eindscore van het effect (maar mogelijks wel aan de tussenscore).

3.6.4 Methodiek effectvoorspelling en -beoordeling

Het geluidsdrukniveau van de inrichting dient te voldoen aan de richtwaarden (milieukwaliteitsnormen) voor geluid in open lucht van Vlarem II. Voor de bepaling van het toelaatbare geluidsdrukniveau zijn een aantal criteria van belang.

Vooreerst is er de periode van de dag: dag (van 07.00 tot 19.00 uur), avond (van 19.00 tot 22.00 uur) en nacht (van 22.00 tot 07.00 uur). Vervolgens is er de ligging van de immissiepunten volgens het gewestplan. Tot slot is er een verschil tussen bestaande en nieuwe inrichtingen.

Met betrekking tot het eerste criterium geldt dat de strengste norm opgelegd wordt voor het geluidsdrukniveau tijdens de nachtperiode.

Voor het tweede criterium dient de ligging volgens de geldende bestemmingsplannen nagegaan te worden.

Op sommige plaatsen zullen de beoogde wijzigingen planologisch gevolgen hebben en zal dit ook akoestische implicaties hebben voor het beoordelingskader van Vlarem II. Op enkele plaatsen zal een wijziging van het gewestplan dienen doorgevoerd te worden waardoor bepaalde milieukwaliteitsdoelstellingen binnen en rondom de verschillende gebieden respectievelijk in de huidige, als in de geplande situatie anders zullen zijn. De relevante contouren van 500 meter rond de gebieden zal wijzigen. Volgens het beoordelingskader van VLAREM II dient er een onderscheid gemaakt te worden tussen:

- Beoordelingspunten die gelegen zijn binnen de contour van het 'nieuwe' gebied voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen;
- Beoordelingspunten die gelegen zijn rondom de contour van een nieuw gebied voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen binnen een perimeter van 500 meter.

Algemeen gesteld komt het erop neer dat de milieukwaliteitsnormen versoepelen of gelijk blijven binnen de geplande contour en dat er een ruimere geografische afbakening ontstaat die voortaan ook moet worden beoordeeld als gebied op minder dan 500 m van gebied voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen.

De realisatie van een hoogspanningsstation wordt beschouwd als een nieuwe inrichting.

De significantie van een project hangt sterk af van de evolutie van het omgevingsgeluid voor en na uitvoering van een project. Deze parameter wordt als belangrijkste beschouwd en wordt in de Y as van onderstaande tabel toegepast. Het berekenen van deze parameter geeft een tussenscore. Op deze tussenscore wordt een correctie toegepast afhankelijk van het al dan niet voldoen aan de vigerende wetgeving. Indien het omgevingsgeluid relevant stijgt maar indien er wel voldaan wordt aan de vigerende wetgeving, is de eindscore maximaal beperkt negatief.

De score onder 'Voldoet aan het Vlarem' betreft de eindscore na correctie.

Voor wat betreft de lege vakjes (-) kan gesteld worden dat de mogelijkheid om in dergelijk vakje terecht te komen, zich in uitzonderlijke gevallen zal voordoen. De deskundige zal hier zelf een score aangeven die vergezeld gaat van een degelijke motivatie. Elke score dient door de deskundige bovendien gekaderd te worden in het project.

Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

		Voldoet aan het Vlarem ?				
Lna-Lvoor*	**tussenscore**	**Nieuw of verandering**		**Bestaand**		
ΔLAX,T	**(effectscore)**	**Lsp≤GW**	**Lsp>GW**	**Lsp≤RW**	**RW<Lsp≤RW+10**	**Lsp>RW+10**
$\Delta L_{AX,T}>+6$	-3	-1	-3	-1	-2	-3
$+3<\Delta L_{AX,T}\leq+6$	-2	-1	-3	-1	-2	-3
$+1<\Delta L_{AX,T}\leq+3$	-1	-1	-3	-1	-1	-3
$-1\leq\Delta L_{AX,T}\leq+1$	0	0	-1/-2 **	0	-1	-3
$-3\leq\Delta L_{AX,T}<-1$	+1	+1	-	+1	+1	-
$-6\leq\Delta L_{AX,T}<-3$	+2	+2	-	+2	+2	-
$\Delta L_{AX,T}<-6$	+3	+3	-	+3	+3	-

$\Delta L_{AX,T}$: verschil in omgevingsgeluid in dB(A) voor en nadat een project zal zijn uitgevoerd
Met T = duur in seconden
Met X:
"N" parameter van statistische analyse ($L_{AN,T}$), in Vlarem wordt N = 95 gebruikt ter toetsing aan de milieukwaliteitsnorm
ofwel
"eq" voor het equivalente geluidsdrukniveau ($L_{Aeq,T}$), van het omgevingsgeluid.
GW : grenswaarde volgens het beslissingsschema 4.5.6.1 van Vlarem II
RW : richtwaarde
Lsp : specifiek geluid
*bij hervergunning dient Lvoor gebruikt te worden alsof het bestaande bedrijf er niet was. Bij een hervergunning van een inrichting met een mix van bestaande & nieuwe bronnen is het oorspronkelijk omgevingsgeluid voor de nieuwe bronnen, het omgevingsgeluid met de bestaande bronnen van de inrichting in werking.
** de keuze -1 ofwel -2 is afhankelijk van de grootte van de overschrijding van de GW (al dan niet binnen het betrouwbaarheidsinterval van de berekende specifieke immissie).

De bijdrage van de mogelijke hoogspanningsstations wordt ingeschat door het toegelaten specifiek geluid van het station (Lsp) (logaritmisch) op te tellen bij het achtergrondniveau en het achtergrondniveau daar weer vanaf te trekken. Een voorbeeld:

- Achtergrondniveau: 40 dB(A) Lnight
- Lsp HS-station: 35 dB(A) Lnight
- Achtergrond + Lsp: 40 + 35 = 41,2 dB(A) Lnight
- Bijdrage HS-station: 41,2 – 40 = +1,2 dB(A) Lnight
- Effectscore (tussenscore): -1
- Eindscore: -1 (aangezien Lsp voldoet aan Vlarem)

De mogelijke verstoring ten aanzien van fauna en mens zullen (kwalitatief) besproken worden in de disciplines Biodiversiteit (effectgroep verstoring) en Mens-gezondheid.

3.7 Mens – ruimtelijke aspecten

3.7.1 Eerste beoordeling

Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit

De realisatie of uitbreiding van een hoogspanningsstation zal leiden tot een gewijzigd bodemgebruik en tot een wijziging / verlies van (menselijke) functies (oa. wonen, landbouw, bedrijvigheid, recreatie). Het wijzigen van het functioneren van de activiteiten in en rond de te onderzoeken locaties kan hierbij niet op voorhand uitgesloten worden. Daarnaast kan een versnippering van ruimtelijke functies optreden. De effecten ten aanzien van de functies “kleinhandel” en “infrastructuur” worden als niet relevant geacht, gezien er geen relevante overlap is met deze functies en indien er toch een overlap is met wegenis, het kleinere lokale wegen betreft, welke gemakkelijk kunnen verlegd worden om de toegang tot alle percelen te verzekeren.

- ***Stevin***: volgens het gewestplan wordt deze zone grotendeels aangeduid als gebied voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen, ook smalle stroken buffergebied, landbouwgebied en in het westen ook landschappelijk waardevol agrarisch gebied zijn aanwezig. Deze zone bestaat momenteel uit weilanden en is gelegen nabij woningen. Er kan verondersteld worden dat het oostelijk deel in de toekomst zou ingenomen worden conform de gewestplanbestemming “gebied voor gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen”.
- ***Herdersbrug***: deze locatie overlapt met het GRUP ‘Afbakening zeehavengebied Zeebrugge’ waar het wordt aangeduid als “gebied voor zeehaven- en watergebonden bedrijven op de watergebonden terreinen ”. Momenteel wordt deze zone ingenomen door een braakliggend terrein.
- ***De Spie***: deze zone overlapt met het GRUP ‘Afbakening regionaalstedelijk gebied Brugge - herneming’ – deelgebied 5 De Spie waar het wordt aangeduid als “gemengd bedrijventerrein De Spie”. Momenteel wordt deze zone ingenomen door landbouwpercelen.
- ***Plassendale***: deze zone is gelegen binnen het GRUP “Afbakening zeehavengebied Oostende” waarbij deze mogelijke locatie de bestemming “regionaal bedrijventerrein in het zeehavengebied” krijgt. Het meest noordoostelijk deel wordt aangeduid als “gebied voorbehouden voor de vestiging van onderzoeksintensieve ondernemingen”, cfr het BPA 131 Plassendale – Oostende. Momenteel wordt de volledige zone grotendeels ingenomen door braakliggende percelen.
- ***Vaartblekerstraat***: deze zone is gelegen binnen het GRUP “Afbakening zeehavengebied Oostende” waarbij deze mogelijke locatie de bestemming “regionaal bedrijventerrein in het zeehavengebied” krijgt. Momenteel wordt deze zone grotendeels ingenomen door braakliggende percelen.
- ***Biekorfstraat***: deze zone is gelegen binnen het GRUP “Afbakening zeehavengebied Oostende” waarbij deze mogelijke locatie de bestemming “regionaal bedrijventerrein in het zeehavengebied” krijgt. Momenteel wordt deze zone grotendeels ingenomen door braakliggende percelen.
- ***Izegem***: volgens het gewestplan is de zone van de beoogde uitbreiding bestemd als agrarisch gebied. Het bestaande hoogspanningsstation is bestemd als zone voor gemeenschapsvoorzieningen en openbaar nut, met uitzondering van de meest westelijke zone, wat in een agrarische bestemming gelegen is.
- ***Koksijde***: volgens het gewestplan is deze zone bestemd als agrarisch gebied. Deze zoekzone bevindt zich eveneens binnen HAG.
- ***Veurne***: volgens het gewestplan is deze zone bestemd als landschappelijk waardevol agrarisch gebied. Deze zoekzone bevindt zich eveneens binnen HAG.

De aspecten die betrekking hebben op het ruimtelijk functioneren, op de relaties tussen de verschillende functies en mate waarin ontwikkelingsmogelijkheden gecreëerd of ontnomen worden, zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

Zoals reeds eerder beschreven zal de uitvoering van het planvoornemen zorgen voor bevoorradingszekerheid en aansluitingsmogelijkheden creëren voor bijkomende productie van hernieuwbare energie onshore en op zee. Er kan dus gesteld worden dat uitvoering van het planvoornemen het functioneren van economische activiteiten in de ruime omgeving van het plangebied mogelijk maakt, wat kan aanzien worden als een positief effect.

Ruimtelijke beleving - visuele hinder

Na uitvoering van het planvoornemen zal er een hoogspannings- en conversiestation gerealiseerd zijn. Daarnaast zullen bestaande stations uitgebreid/aangepast zijn. Rekening houdend met de mogelijke omvang van de gebouwen / installaties, kan visuele hinder niet op voorhand uitgesloten worden. Dit zal verder onderzocht worden in de plan-MER. Ook de mogelijke aspecten inzake wind- en schaduweffecten en de aspecten sociale beleving, privacy en veiligheidsgevoel komen aan bod.

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen negatieve effecten inzake lichtverstoring meer verwacht. Ter hoogte van de stations is wel verlichting aanwezig om ’s nachts te kunnen werken indien nodig (zie hoger). Echter, deze verlichting staat niet standaard aan en wordt dus maar occasioneel gebruikt, waardoor geen negatieve effecten verwacht worden. Dit laatste aspect zal bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Ruimtelijke structuur en wisselwerking met de ruimtelijke context

De realisatie of uitbreiding van een hoogspanningsstation zal zorgen voor een wijziging in ruimtelijke structuur en de ruimtelijke context. Deze aspecten zullen bijgevolg verder onderzocht worden in de plan-MER.

3.7.2 Nader te onderzoeken

Deze discipline zal verder onderzocht worden in de plan-MER.

3.7.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Bij het beschrijven van de referentiesituatie wordt o.m. aandacht besteed aan de aanwezige functies van en binnen het plangebied (landbouw, wonen, bedrijvigheid, voorzieningen), de bestaande ruimtelijke kwaliteiten en knelpunten en de functionele en visuele relaties.

De beschrijving van de referentiesituatie wordt van meet af aan gestructureerd volgens de subdisciplines en effectgroepen zoals deze besproken zullen worden in de effectbeschrijving.

- Bestemming: compatibiliteit van de bestaande functies met de geldende juridische bestemmingen en de beleidsvisie(s)
- Gebruikswaarde: aanwezige functionele deelsystemen (wonen, landbouw, bedrijvigheid) en hun ruimtelijke samenhang; het functioneren van de activiteiten in en rond het plangebied
- Beeld- en belevingswaarde: perceptieve kenmerken van de omgeving

Voor de beschrijving van de referentiesituatie zullen o.a. volgende informatiebronnen geraadpleegd worden:

- Topografische kaarten, luchtfoto’s;
- Stratenatlas;
- Landgebruik binnen het studiegebied o.b.v. topografische kaarten, orthofoto’s en terreinbezoek;

- Gewestplannen, BPA's, RUP's,..

3.7.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De beoordeling zal gebeuren door een MER-deskundige Mens-ruimtelijke aspecten. Indien er een verschil zou zijn tussen de feitelijke en juridische referentiesituatie, zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

De discipline Mens-ruimtelijke aspecten omvat de effecten van de aanwezigheid en de werking van het planvoornemen op het wonen, het werken, de landbouwfunctie en de recreatie in de omgeving. Dikwijls hebben dergelijke effecten een sociaaleconomisch karakter.

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline Mens kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom steunen op objectieve criteria.

Ook de functionele aspecten die betrekking hebben op de invloed van de gewijzigde infrastructuur op het ruimtelijk functioneren, op de relaties tussen de verschillende functies en mate waarin ontwikkelingsmogelijkheden gecreëerd of ontnomen worden komen aan bod.

Het aspect visuele beleving vertoont belangrijke interactie met de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie.

Voor de locaties waar de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation onderzocht wordt, zal nagegaan worden of deze mogelijke locaties gelegen zijn binnen HAG.

Tabel 3-5: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Mens-ruimtelijke aspecten

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
ruimtegebruik en gebruikskwaliteit	Functiewijziging en wijziging in bodemgebruik Wijziging maatschappelijk functioneren	Kwalitatieve beoordeling, deels op basis van kwantitatieve gegevens (ruimtebeslag,…), deels op basis van kwalitatieve criteria (woonkwaliteit, zuinig ruimtegebruik, ruimtelijke draagkracht	Het effect wordt als significant beoordeeld als het bodemgebruik wijzigt en dit een invloed heeft op het ruimtelijk en maatschappelijk functioneren (r.m.f) r.m.f. verhinderd of vernieuwd = sterk significant r.m.f. bemoeilijkt of versterkt = beperkt tot matig significant Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement Recreatiemogelijkheden aanleggen/verwijderen = sterk significant
		Verdwijnen van of aanleg van recreatieve infrastructuren	Recreatiemogelijkheden aanpassen = beperkt tot matig significant
Effecten t.g.v. gewijzigde visuele beleving	Hiervoor wordt deels verwezen naar discipline Landschap	Kwalitatieve beschrijving van de wijzigingen in de omgeving die leiden tot een visuele impact + beschrijving hoe hierdoor	Mate van visuele impact, mate waarin de waarnemings- en waarderingskenmerken worden beïnvloed

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
	Linken met de randen van het plangebied	de belevingswaarden kunnen wijzigen	Effectenbepaling o.b.v. expert judgement
Ruimtelijke structuur en samenhang	Doorsnijden, verstoren, versterken of creëren van ruimtelijke samenhang	kwalitatieve beschrijving	Significantie van het effect wordt bepaald door de omvang van de ruimtelijke structuur die gewijzigd wordt. Effectenbepaling o.b.v. expert judgement

3.8 Mens – mobiliteit

3.8.1 Eerste beoordeling

Bijkomende verkeersbewegingen zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de **aanlegfase**. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de **exploitatiefase** beperken verkeersbewegingen zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. Deze mogelijke bijkomende verkeersbewegingen zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen. Effecten inzake parkeergelegenheid, verkeersveiligheid, mogelijke invloed op trage weggebruikers,… worden voor dit planonderdeel niet relevant geacht op planniveau. Tijdens de aanlegfase kunnen deze effectgroepen echter wel relevant zijn. Er zijn voldoende maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

3.8.2 Nader te onderzoeken

Inzake de discipline mobiliteit worden geen aanzienlijke effecten verwacht op planniveau. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline mobiliteit meer nodig in de plan-MER.

3.9 Mens - hulpbronnen

3.9.1 Eerste beoordeling

Impact op oppervlaktedelfstoffen is reeds onder de discipline Bodem-grondstofvoorraden beschouwd.

- Er wordt geen significante impact op de **grondstofvoorraden** verwacht. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden.

Het voorgenomen plan heeft de productie/hergebruik van afvalstoffen niet tot doel en er wordt geen water gebruikt in de exploitatiefase.

Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat de hernieuwbare energie van bijkomende offshore windparken op zee kan aanlanden en bijgevolg praktisch bruikbaar wordt. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen.

3.9.2 Nader te onderzoeken

Inzake de discipline Mens-natuurlijke hulpbronnen worden geen aanzienlijke effecten verwacht op planniveau. Er is geen nader onderzoek van de discipline Mens-natuurlijke hulpbronnen meer nodig in de plan-MER.

3.10 Mens- gezondheid

3.10.1 Eerste beoordeling

Geluidsverstoring

Zie ook §3.56, discipline Geluid.

Ter hoogte van hoogspanningsstations zullen geluidsbronnen aanwezig zijn in de exploitatiefase. Deze kunnen zorgen voor geluidsverstoring voor omwonenden. In het project-MER "380 kV Hoogspanningsverbinding Zomergem – Zeebrugge", zijn geluidsmodelleringen uitgevoerd voor de installatie van nieuwe hoogspanningsstations. De berekende waarden zijn hierin allemaal inclusief de 5 dB(A) penaliteit voor het tonaal karakter van de transfo's. Uit de geluidstudie bleek dat zonder het nemen van milderende maatregelen de limietwaarden werden overschreden ter hoogte van de meest nabije woningen. Door het optrekken van geluidsschermen kon wel aan de limietwaarden voldaan worden. Gezien de limietwaarden dus rekening hielden met de tonale penaliteiten, en het mogelijk was deze limietwaarden te respecteren na het nemen van maatregelen op uitvoeringsniveau, werden geen relevante negatieve effecten verwacht. De meest nabije woningen waren gelegen op ca. 80m van de grens van het station Stevin.

Ter hoogte van de locaties die in dit planvoornemen onderzocht worden voor de aanleg van een hoogspanningsstation, bevinden zich eveneens woningen op een korte afstand.

Gelet op het 24/24 continu en het "zuiver" geluid van een transformator-station, zal de Lnight maatgevend zijn. De mogelijke effecten ten aanzien van Lnight zullen in het plan-MER verder onderzocht worden.

Lucht

Zie ook §3.5, discipline Lucht.

De werken tijdens de aanlegfase kunnen verkeersemissies veroorzaken. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en eventuele onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor permanent negatieve effecten zorgen. Aanzienlijk negatieve effecten worden niet verwacht.

Wijziging Elektrische en Magnetische-velden

Door de aanleg of uitbreiding van hoogspanningsinstallaties zullen de waarden van de elektrische en magnetische velden in de omgeving ervan wijzigen. Een aantal te onderzoeken locaties zijn gelegen in de nabijheid van kwetsbare gebieden, waardoor mogelijke effecten op de gezondheid niet op voorhand uit te sluiten zijn. Echter, elektrische velden zijn onschadelijk zolang de normen gerespecteerd worden wat steeds het geval is voor de installaties van Elia.

De Belgische wetgeving (artikel 139 van het AREI) beperkt de waarden van het elektrisch veld dat wordt opgewekt door de installaties voor transport en verdeling van elektriciteit. Het elektrisch veld moet lager blijven dan (gemeten op 1,5 meter van de grond of van woningen):

- in de woon- of woonbestemmingszones op de sectorale plannen: 5 kV/m
- over wegen: 7 kV/m
- op andere plaatsen: 10 kV/m

Elektrische velden in de omgeving van nieuw aan te leggen of uit te breiden hoogspanningsstations worden dus niet verder beschouwd in de plan-MER.

Inzake magnetische velden bestaat er een statistisch maar geen oorzakelijk verband tussen het voorkomen ervan en mogelijke effecten op de gezondheid. Voor meer info wordt verwezen naar §2.4.2 van de scopingnota.

Psychosomatische effecten

Door de aanwezigheid van hoogspanningsinstallaties kunnen psychosomatische effecten optreden. Dit betekent dat ook gezondheidseffecten kunnen optreden als er feitelijk geen enkele blootstelling aan de orde is. Een gezondheidseffect kan optreden omdat er een wisselwerking is tussen de geest (de psyche, het denken of geloven) en het lichaam (soma)[8].

Over het aantal personen dat deze effecten zal ondervinden zijn geen wetenschappelijke gegevens beschikbaar (leemte in de kennis). Gezien de afwezigheid van wetenschappelijke informatie over psychosomatische effecten veroorzaakt door de aanwezigheid van hoogspanningsinstallaties is het moeilijk deze effectgroep te beoordelen. We kunnen er echter van uitgaan dat bij personen die dicht bij een hoogspanningsinstallatie wonen een grotere bezorgdheid kan bestaan dan bij mensen die op grotere afstand wonen. Een aantal te onderzoeken locaties en zoekzones voor de realisatie (of uitbreiding) van een hoogspanningsstation zijn gelegen in de nabijheid van woonwijken en/of woonuitbreidingsgebieden, waardoor mogelijke effecten niet op voorhand uit te sluiten zijn. Hetzelfde geldt voor hoogspanningsverbindingen, zie §4.10. Op basis hiervan kan de mogelijke omvang van psychosomatische effecten bepaald worden en kunnen milderende maatregelen voorgesteld worden. Deze effectgroep zal dus verder onderzocht worden in de plan-MER.

3.10.2 Nader te onderzoeken

Mogelijke geluidshinder naar aanleiding van bijkomende geluidsemissies afkomstig van het hoogspanningsstation zal verder onderzocht worden in de plan-MER.

Mogelijke gezondheidseffecten en psychosomatische effecten naar aanleiding van bijkomende magnetische velden zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

3.10.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie en effectbespreking met betrekking tot geluidshinder

De Lnight is maatgevend en voor de hoogspanningsstations is een zeer strenge GAW van 35 dB(A) van toepassing. Het huidige achtergrondgeluid en de mogelijke geluidsbijdrage van de hoogspanningsstations zal aangeleverd worden vanuit de discipline Geluid.

Het gezondheidseffect gekoppeld aan Lnight is slaapverstoring. De effectscores voor slaapverstoring worden gelijkgesteld aan de tussenscores voor discipline geluid. M.a.w.: een score -1 komt voor vanaf een geluidstoename met 1 dB(A), een score -2 vanaf +3 dB(A) en een score -3 vanaf +6 dB(A). Voor lage absolute geluidsniveaus (<50 dB(A) Lnight) kan dit als een “worst case” beoordeling beschouwd worden. Merk op dat voor discipline Gezondheid géén correctie (afvlakking) van de tussenscores naar eindscores gebeurt.

[8] “Soma” (woord van Griekse oorsprong, betekent lichaam)

3.10.4 Methodiek referentiesituatie met betrekking tot magnetische velden

Onderstaand wordt een algemene methodiek toegelicht voor het beschrijven van de referentiesituatie die zowel van toepassing is met betrekking tot hoogspanningsstations als bovengrondse en ondergrondse hoogspanningsverbindingen. In §4.10.3 en §5.10.3 zal naar onderstaande methodiek verwezen worden omdat deze ook daarvoor van toepassing is.

Berekening magnetische velden

De referentiesituatie betreft de aanwezigheid van de bestaande hoogspanningslijnen / hoogspanningsstations en kabels in het studiegebied.

Voor de velden rond hoogspanningsstations kan gesteld worden dat de magnetische velden aan een hoogspanningsstation voornamelijk worden bepaald door de binnenkomende kabels en luchtlijnen. Uitgezonderd in stedelijke gebieden waar de kabels en interne verbindingen soms op 1 m van de perceelsgrens staan, zijn de magnetische velden (te wijten aan de interne verbindingen) ter hoogte van de omheining van het station onder het niveau van 0,4 µT. Situaties waar de installaties omwille van ruimtegebrek dermate dicht bij de omheining geplaatst zullen moeten worden, doen zich echter niet voor in het planvoornemen.

Voor de velden rond hoogspanningskabels en –lijnen zullen de berekeningen van de magnetische velden in de huidige situatie en in de mogelijke toekomstige situaties door het Departement Omgeving uitgevoerd worden op basis van het rekenmodel[9] dat in samenwerking met IMEC en de Universiteit van Luik opgemaakt werd. De berekeningen zullen in bijlage bij de plan-MER opgenomen worden.

Voor de berekening van de magnetische velden in de huidige situatie wordt maximaal uitgegaan van de effectieve belastingen in de periode die voorafgaat aan de berekeningen. Dit is de periode van eind 2019 tot eind 2020. Deze effectieve belastingen geven een realistisch beeld van de huidige jaargemiddelde belastingen.

De evolutie van de belastingen op deze lijnen op lange termijn is afhankelijk van het internationale, nationale alsook regionale energiebeleid. Er wordt verwacht dat de belasting van de lijnen reeds op korte termijn zal stijgen door een toenemende elektrificatie van de maatschappij en dit op allerlei vlakken zoals bijvoorbeeld woningverwarming en elektrische voertuigen. De snelheid waarmee deze evolutie zal verlopen is echter nog ongekend. Omwille van de onduidelijkheid over de toename wordt er in de referentiesituatie géén rekening gehouden met een verwachte verhoogde belasting. Als referentiesituatie wordt de huidige (lagere) belasting gebruikt. Een vergelijking van de geplande situatie met de (huidige, lagere) referentiesituatie zal dus een overschatting van het effect geven (= worst-case).

Voor drie hoogspanningslijnen is wel reeds duidelijk gekend dat de huidige situatie sterk afwijkt van de situatie in de toekomst: Stevin-Horta en Horta-Avelgem. Hiervoor wordt gewerkt met de binnenkort verwachte belastingen om een correcte referentiesituatie te bekomen:

- De belasting van Stevin was nog in evolutie doordat de aan te sluiten productie-eenheden (i.e. de offshore-windparken) nog niet helemaal klaar waren. Als referentiebelasting van de Stevin-verbinding wordt daarom uitgegaan van de te verwachte belastingen bij een volledige productiecapaciteit van het eerste offshore-windpark. Hiervoor worden de gegevens gebruikt zoals ze opgenomen zijn in de project-MER voor de Stevin-as. De belasting van het afgelopen jaar bleek lager dan de verwachte belasting.
- De verbinding Horta-Avelgem wordt momenteel aangepast. Deze werken zullen klaar zijn in de loop van 2022. Als referentiebelasting voor deze verbinding wordt uitgegaan van de verwachte belastingen cfr. de gegevens zoals ze opgenomen zijn in de project-MER voor de aanpassingen van deze verbinding. De jaargemiddelde belasting van het afgelopen jaar bleek hoger dan de verwachte belasting, waardoor deze inschatting meer worst case is.

[9] https://biblio.ugent.be/publication/8578237/file/8578239.pdf

- De verbinding Izegem-Avelgem is momenteel een niet vermaasde 380 kV verbinding. Hoewel de transportcapaciteit van de lijn Izegem-Avelgem 1440MVA per draadstel bedraagt, wordt deze beperkt door de transformatoren 380/150kV tot 720MVA die zich bevinden in het HS van Izegem. Dit komt omdat de hoogspanningslijn Izegem-Avelgem momenteel een antenne vormt en niet vermaasd is in de 380kV ruggengraat. 720 MVA komt overeen met de maximale belastbaarheid van de transformatoren in geval van incidenten. Voor het 380kV net dat de ruggengraat vormt van het Belgisch transmissienet is het belangrijk om de vergelijking van een bestaande en toekomstige toestand te baseren op de te verwachten toekomstige transportcapaciteit. Er moet immers rekening gehouden worden met de maatschappelijke evoluties zoals elektrificatie waardoor de gemiddelde stroom doorheen deze 380kV verbindingen zullen verhogen. Specifiek voor deze regio moet er – naast deze elektrificatie – rekening worden gehouden met het 'openen' van het 150kV-net waardoor minder uitwisseling van energie tussen regio's op het 150kV-net zullen plaatsvinden. Deze uitwisseling die tot nu toe via de 150kV verbindingen verloopt zal moeten worden opgevangen via het 380kV-net en op die manier de belasting verhogen. Als referentiebelasting wordt daarom uitgegaan van 30% van de maximaal mogelijke transportcapaciteit. De belasting van het afgelopen jaar bleek lager dan de te verwachten belasting.

De receptoren

Voor de bestaande situatie of referentiesituatie wordt in de eerste plaats nagegaan welke de kenmerken en eventuele kwetsbaarheden zijn van de menselijke populaties (de receptoren). Het betreft een beschrijving van de voorkomende woonkernen, woonclusters en woonlinten en de ligging van kwetsbare locaties. Hieronder worden die locaties verstaan, waarin zich meer kwetsbare (jonge) personen bevinden, met name kinderen in kinderopvangvoorzieningen en scholen. Bijkomend zal ook de ligging van ziekenhuizen nagegaan worden. De ligging van kwetsbare locaties binnen de te onderzoeken corridors (en binnen een straal van 250m rondom de beschouwde corridors) zal besproken worden in het plan-MER.

In stap 1 van het MER zijn nog geen tracés bekend en zal de aanwezigheid van receptoren dus kwalitatief besproken worden. Bij deze bespreking wordt wel reeds gebruik gemaakt van magnetische veldcontouren.

Vanaf stap 2 is het mogelijk en zinvol om het aantal woningen en onbebouwde woonpercelen te kwantificeren, alsook de ligging van kwetsbare locaties nabij deze tracés.

Het aantal woningen en onbebouwde woonpercelen binnen de magnetische veldcontouren wordt berekend door het Departement Omgeving (Vlaams Planbureau voor Omgeving). Voor de bepaling van het aantal onbebouwde bouwgronden wordt gebruik gemaakt van het Register Onbebouwde Percelen (ROP). Deze gegevens worden samengevat doorgegeven aan de MER-deskundigen.

De milieufactoren

Vervolgens gaat de aandacht naar de reeds heersende, relevante omgevingsfactoren en in eerste instantie de magnetische velden ten gevolge van hoogspanningsverbindingen. Het betreft hier die factoren, die reeds in de referentie of bestaande situatie de gezondheid van de mens (kunnen) beïnvloeden.

De deskundige Mens-gezondheid toetst in principe ten aanzien van gezondheidskundige advieswaarden (GAW). Het gaat hier om wettelijk vastgelegde en/of wetenschappelijke normen en/of toetsingswaarden, uitgevaardigd na uitgebreid wetenschappelijk onderzoek door bevoegde internationale vakorganisaties zoals bijvoorbeeld de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), de International Agency for Research on Cancer (IARC), de Environmental Protection Agency (EPA), eventuele andere toonaangevende internationale of nationale organisaties of instituten.

De contouren voor de waarde van 100 µT (acute blootstelling) zoals aanbevolen door de Raad van Europa en de waarde van 200 µT (acute blootstelling) zoals vastgesteld door de ICNIRP worden onder

normale uitbatingcondities nooit bereikt bij hoogspanningsverbindingen. Een toetsing aan deze waarden zal gebeuren voor de maximale belasting van de verbindingen (6GW).

De beoordeling voor chronische effecten geldt als indicatief, vanwege de grote onzekerheid over het bestaan van causale verbanden tussen de magnetische velden gerelateerd aan hoogspanningsinstallaties enerzijds, en effecten – met name voor kinderleukemie - anderzijds.

Met betrekking tot gezondheids- en psychosomatische effecten wordt het aantal woningen bepaald die blootgesteld zijn aan veldniveaus ten gevolge van hoogspanningsverbindingen, hoger dan de onderstaande waarden.

- **200µT** = aanbevolen waarde ICNIRP, maximumwaarde acute blootstelling.
- **100µT** = EU-aanbeveling, maximumwaarde acute blootstelling.
- **0,4 µT** = Epidemiologische drempelwaarde: bij langdurige blootstelling aan meer dan 0,4 µT[10] vinden epidemiologische studies (statistische studies op grote bevolkingsgroepen) een statistische verband (nog geen oorzakelijk verband gekend) met een hoger risico op het voorkomen van leukemie bij kinderen jonger dan 15 jaar. In de veronderstelling van een oorzakelijk verband tussen een magnetisch veld in de omgeving (groter dan 0,4 µT) en kinderleukemie, dan zou er in Vlaanderen één geval van kinderleukemie om de twee jaar door elektriciteitslijnen en 1/3 geval door een ondergronds kabelnet voorkomen. Dit betekent dat als het verband oorzakelijk is er zich om de 2 jaar 1,3 bijkomende gevallen zouden kunnen voordoen. De incidentie (aantal nieuwe gevallen per 100.000 kinderen jonger dan 15 jaar per jaar) van lymfocytaire leukemie (de meest voorkomende vorm van kinderleukemie) in Vlaanderen is ongeveer 40 kinderen (bron: Belgisch kankerregister, 2011). Gemiddeld krijgt ongeveer 1 op 2000 kinderen leukemie. Dit is het achtergrondrisico voor alle kinderen. In de groep kinderen met een relatief risico = 2, krijgt ongeveer 1 kind op 1000 leukemie.

Potentiële gezondheidseffecten

Tenslotte wordt informatie verstrekt over de aard van de gezondheidseffecten die werden/worden gevreesd, of die tot op zekere hoogte kunnen worden gerelateerd aan magnetische velden en in het bijzonder de aanwezigheid van hoogspanningsinfrastructuur.

Uit de inspraakperiode over de startnota van het GRUP Ventilus bleek namelijk een grote bezorgdheid te bestaan over de impact van de magnetische velden van hoogspanningslijnen op de gezondheid. De (mogelijke) effecten van milieufactoren op gezondheid is een complexe materie, er zijn op vandaag nog veel leemten in de kennis hierover. Er werd daarom een klankbordgroep gezondheid opgericht om duidelijkheid te scheppen over de studies en (mogelijke) effecten van hoogspanning op de gezondheid. Een aantal experten heeft via de inbreng van kennis en expertise de bestaande onderzoeken gevalideerd. Dit gebeurde door een overzicht te maken van alle wetenschappelijk onderbouwde kennis die is opgebouwd (https://researchportal.be/nl/publicatie/overzicht-van-recente-globale-evaluaties-van-de-potentiele-gezondheidsrisicos-van-0). Daarnaast heeft het planteam de vragen uit de inspraakperiode voorgelegd aan de experten (zie bijlage 5.3 van de scopingnota). De samenstelling en werking van deze klankbordgroep is terug te vinden in de procesnota bij voorliggende scopingnota.

[10] Langdurig komt overeen met minstens gedurende één jaar elke dag gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 µT.

3.10.5 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling met betrekking tot magnetische velden

Onderstaand wordt een algemene methodiek toegelicht die van toepassing is met betrekking tot zowel hoogspanningsstations als met bovengrondse en ondergrondse hoogspanningsverbindingen. In §4.10.4 en §5.10.4 zal daarom naar onderstaande methodiek verwezen worden.

Er wordt aangegeven welke wijzigingen er met betrekking tot de blootstelling aan **magnetische velden** van de receptoren kunnen/moeten verwacht worden, wanneer het planvoornemen wordt gerealiseerd.

Op basis van de berekeningen die door het Departement Omgeving uitgevoerd worden voor de hoogspanningsverbindingen, zal naast de beschrijving van de huidige toestand (referentiesituatie) ook een beschrijving van de toekomstige toestand gemaakt worden.

Met betrekking tot gezondheids- en psychosomatische effecten wordt de mogelijke omvang bepaald op basis van het aantal “nieuwe woningen” gelegen binnen bepaalde veldcontouren rondom de potentiële locaties voor hoogspanningsinstallaties en HS-verbindingen en dit op dezelfde manier als voor de referentiesituatie. Met “nieuwe woningen” wordt bedoeld het verschil tussen het aantal woningen dat in de referentiesituatie binnen de 0,4 µT contour ligt en het aantal ingeschatte woningen dat in de geplande toestand binnen de 0,4 µT contour zal gelegen zijn. Woningen die zich momenteel ook reeds binnen de 0,4 µT contour bevinden van een bestaande HS-lijn worden bijgevolg niet als “nieuw” beschouwd.

In de plan-MER zal het globale effect voor het totale planvoornemen beschreven worden (zowel ter hoogte van hoogspanningsstations, bovengrondse en ondergrondse verbindingen). De omvang van de mogelijke invloed door magnetische velden zal kwantitatief weergegeven worden aan de hand van de veldcontour 0,4µT en de hierin geschatte aantal nieuwe overspannen woningen (vanaf stap 2 van het onderzoek). Dit betreft bijgevolg een beoordeling ten opzichte van de feitelijke referentiesituatie. Voor de beoordeling zal geen score toegekend worden. Verder zal er ook aandacht zijn voor nog niet ingevulde woongebieden in de omgeving, gezien hier in de toekomst woningen kunnen gerealiseerd worden en uitvoering van het planvoornemen hier potentieel een impact op zou kunnen hebben. Dit betreft bijgevolg een beoordeling ten opzichte van de juridische referentiesituatie.

Ook zal er informatie gegeven worden over de communicatiestrategie om mogelijke psychosomatische effecten te milderen, in de mate dat deze in deze fase reeds concreet zou zijn.

3.10.5.1 Te gebruiken jaargemiddelde belasting van de Ventilus-verbinding

Voor de berekeningen van de magnetische velden die door het Departement Omgeving uitgevoerd worden, dient bepaald te worden welke belasting gebruikt zal worden.

De toekomstige Ventilus-verbinding wordt ontworpen voor een transportcapaciteit van 6GW. De grootte van deze ontwerpcapaciteit van 6GW werd bepaald om fluctuaties doorheen het jaar alsook incidenten op andere verbindingen te kunnen opvangen en is daardoor veel hoger dan de jaargemiddelde belasting van de verbinding.

De jaargemiddelde belasting voor 380kV-verbindingen in België bedraagt typisch 30% van de ontwerpcapaciteit. De grote marge op de ontwerpcapaciteit van de verbinding is o.a. nodig om eventuele incidenten tijdelijk te kunnen opvangen op andere verbindingen in het vermaasde net en zo de nodige betrouwbaarheid op het elektriciteitsnet te verzekeren.

Voor de berekeningen van de jaargemiddelde belastingen voor de toekomstige Ventilus-verbinding zal gebruik gemaakt worden van **30 % van de ontwerpcapaciteit**. Dit is een overschatting van de verwachte stromen cfr de modelleringen door de netbeheerder.

In de onderstaande paragrafen wordt toegelicht:

- wat de verwachte jaargemiddelde belasting is voor de toekomstige Ventilus-verbinding. Hierbij wordt bijkomend uitgegaan van hypothetische maximale scenario’s.

- waarom de ontwerpcapaciteit hoger is dan de gemiddelde jaarbelasting.
- aanvullend wordt ter illustratie ook de werkelijke belasting van de rest van het Belgische 380kV-netwerk weergegeven.

Berekening jaargemiddelde belasting Ventilus

Cf. hoger vermeld zal voor de berekeningen van de jaargemiddelde belasting in de plan-MER gebruik gemaakt worden van 30% van de ontwerpcapaciteit van 6GW. Deze waarde is afgeleid uit berekeningen die de netbeheerder uitgevoerd heeft voor het verwachte gebruik van de hoogspanningsverbinding.

Voor de Ventilus-verbinding worden twee verschillende scenario's van de onthaalcapaciteit aan de kust berekend voor het bepalen van de verwachte jaargemiddelde belasting van de Ventilus-verbinding. In beide scenario's is de transportcapaciteit van de Ventilus-verbinding identiek, zijnde 6GW. Het vermogen zal daarbij telkens verdeeld worden over beide assen naar het binnenland (Stevin en Ventilus) en is dus niet het vermogen dat over alleen Ventilus getransporteerd zou worden.

- Bij het eerste scenario (7GW-scenario) worden alle gekende noden in rekening gebracht, waardoor er een onthaalcapaciteit van ongeveer 7GW aan de kust wordt gerealiseerd. Dit is momenteel een realistisch te verwachten hoeveelheid elektriciteit die aangesloten zal worden in de kuststreek.

  7GW-scenario:
  - ±5,5 GW offshore
    - Bestaande productie
    - MOG II: nieuwe productie en bijkomende hybride interconnectie
  - ±1 GW Nemo Link
  - ±0,6 GW onshore productie

- In een tweede scenario onderzoekt men een hypothetisch scenario (8GW-scenario) met een onthaalcapaciteit van ongeveer 8GW aan de kust. Hierbij wordt een grotere hoeveelheid productie/import voorzien voor de toekomstige offshore ontwikkelingen dan verwacht wordt. Dit maximalistische scenario wordt toegevoegd om na te gaan of en in welke mate een extra aansluitingsvermogen van 1GW een invloed zou hebben op de hoger vermelde te gebruiken waarde voor de berekeningen.

  8GW-scenario:
  - ±6,5 GW offshore
    - Bestaande productie
    - MOG II: nieuwe productie en bijkomende hybride interconnectie
  - ±1 GW Nemo Link
  - ±0,6 GW onshore productie

Bij de berekeningen door de netbeheerder Elia voor de jaargemiddelde belasting op de Ventilus-verbinding worden er een reeks aannames gedaan rond de verwachte productie offshore/onshore en import/export van de interconnectoren Nemo-link en MOG II.

- Voor zowel de onshore als de offshore windmolenparken worden offshore windprofielen gebruikt. Deze zijn gebaseerd op windmetingen van de afgelopen jaren. Onshore windparken hebben in realiteit een lager productierendement dan offshore windparken[11]. Het gebruiken van de offshore windprofielen geeft dus een hogere belasting op de Ventilus-as, zijnde een overschatting van de jaargemiddelde transporten.
- Ook voor de interconnectoren worden belastingsprofielen gebruikt die een overschatting geven van de jaargemiddelde transporten op Ventilus. Voor de interconnectoren betekent dit een zeer hoog percentage aan import.

[11] Gemiddelde onshore windproductie ligt +/-20% lager dan gemiddelde bij offshore windproductie

De berekeningen geven volgende resultaten, rekening houdende met de bovenvermelde hoge belastingaannames.

Scenario	Jaargemiddelde belasting Ventilus-as
7GW-scenario	25,8%
8GW-scenario	28,5%

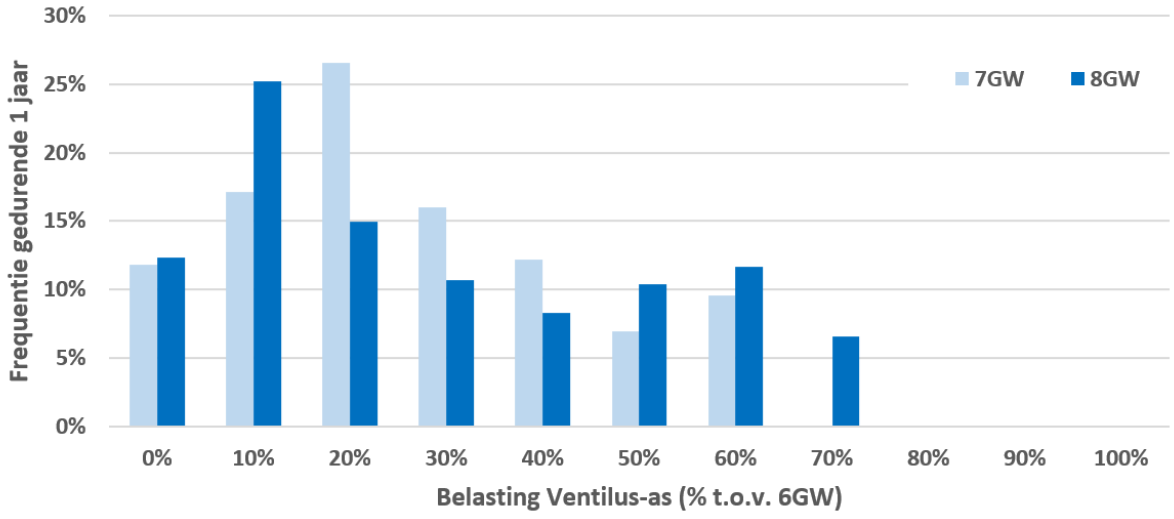
Voor de berekening van de grootte van de zone waar jaargemiddeld meer dan 0.4 µT kan voorkomen, wordt 30% belasting gebruikt. Dat is een afronding naar boven van de belasting, 28.5% die berekend werd voor het 8 GW scenario. Dit wordt gebruikt voor de 380kV-Ventilusverbinding. Voor de trajecten waar masten opnieuw gebruikt worden, kan de configuratie van die masten ingevoerd worden in het rekenmodel. Voor de trajecten waar nieuwe masten geplaatst worden, is de exacte locatie nog niet gekend. Daarom zal gebruik gemaakt worden van 30% belasting met toevoeging van een extra buffer om hiermee rekening te houden. Voor de ondergronds aan te leggen 220 kV AC-verbindingen tussen de aanlandingslocatie en de mogelijke locaties voor het hoogspanningsstation zal gebruik gemaakt worden van 40% belasting. Dit is gebaseerd op een alignering van de stromen op de offshore kabels waarbij rekening wordt gehouden met de verschillende samenstelling tussen offshore en onshore kabels. De stroom van 156MVA resulterend uit de berekening van de offshore kabels zou resulteren in een percentage van 36,3% voor de onshore kabels. Dit wordt verhoogd met een marge tot 40%.

Waarom de ontwerpcapaciteit veel hoger is dan de jaargemiddelde belasting vereist.

Onderstaande grafiek werd door de netbeheerder opgemaakt op basis van de modelleringen die voor de Ventilus-verbinding uitgevoerd werden. De grafiek toont hoe vaak een bepaald percentage belasting verwacht wordt. Dit gedurende een jaar over de Ventilus-as en voor de twee hogervermelde scenario's qua onthaalcapaciteit aan de kust.

Deze grafiek geeft de belastingsverdeling weer voor normale omstandigheden.

De kolommen bevatten waarden die 5% hoger en lager liggen dan getoond in de X-as. Als voorbeeld: de kolom "50%" geeft de frequentie van belastingen voor tussen 45 en 55%. In het actueel scenario (7GW) zal zo'n 7% van het jaar een belasting aanwezig zijn die tussen 45 en 55% ligt.



Zoals zichtbaar op de grafiek, worden er op de Ventilus-verbinding zelfs in het hypothetische hoge scenario geen belastingen van meer dan 75% van de ontwerpcapaciteit (6GW) verwacht.

Het merendeel van de tijd zal de verbinding vrij weinig belast zijn in vergelijking met de ontwerpcapaciteit. Voor het actueel scenario is de lijn bv +/- 56% van de tijd minder dan 25% belast (Dit is de som van de kolommen 0%, 10% en 20%).

De marge op de ontwerpcapaciteit van de lijn is nodig om eventuele incidenten tijdelijk te kunnen opvangen op andere verbindingen in het vermaasde net. In het geval van Ventilus zijn dit incidenten op de Stevin-as. Na een incident zal de lijn dan tijdelijk hoger belast worden. Deze hogere belasting is steeds van korte duur. Als netbeheerder is Elia verplicht om na een eerste incident de nodige maatregelen te treffen om het net terug voor te bereiden op een eventueel volgend incident. In geval van hoge productie op zee en op het land (veel wind) en hoge import zal er op korte termijn wind afgeregeld worden (windmolens worden stilgelegd) of/en de import vanuit de UK wordt beperkt. Daardoor wordt de verbinding opnieuw ontlast en is deze klaar voor een volgend incident op te vangen. Afhankelijk van hoe snel de maatregelen genomen kunnen worden, kan dit een kwartier tot enkele uren in beslag nemen.

Het voorkomen van 100% belasting is zelfs bij incidenten zeer uitzonderlijk. Dit zou enkel voorkomen in uitzonderlijke situaties waarbij er bijvoorbeeld een maximale aansluiting is (7GW met maximale windproductie samen met maximale import op beide interconnectoren) en er tegelijkertijd een ernstig incident[12] plaatsvindt op de Stevin-as. Deze kans is zeer klein maar niet onbestaande. Om het uitvallen van het hoogspanningsnet maximaal te vermijden, is het belangrijk om de ontwerpcapaciteit van een verbinding steeds te voorzien op uitzonderlijke omstandigheden.

Incidenten zijn zeldzaam, per definitie onverwacht en dus niet opgenomen in de verwachte belasting. Een incident dat gedurende 1 uur de belasting verhoogt duurt echter slechts zo'n 0.01% van een jaar, wat zelfs met 100% belasting geen enkele invloed heeft op de jaargemiddelde belasting.

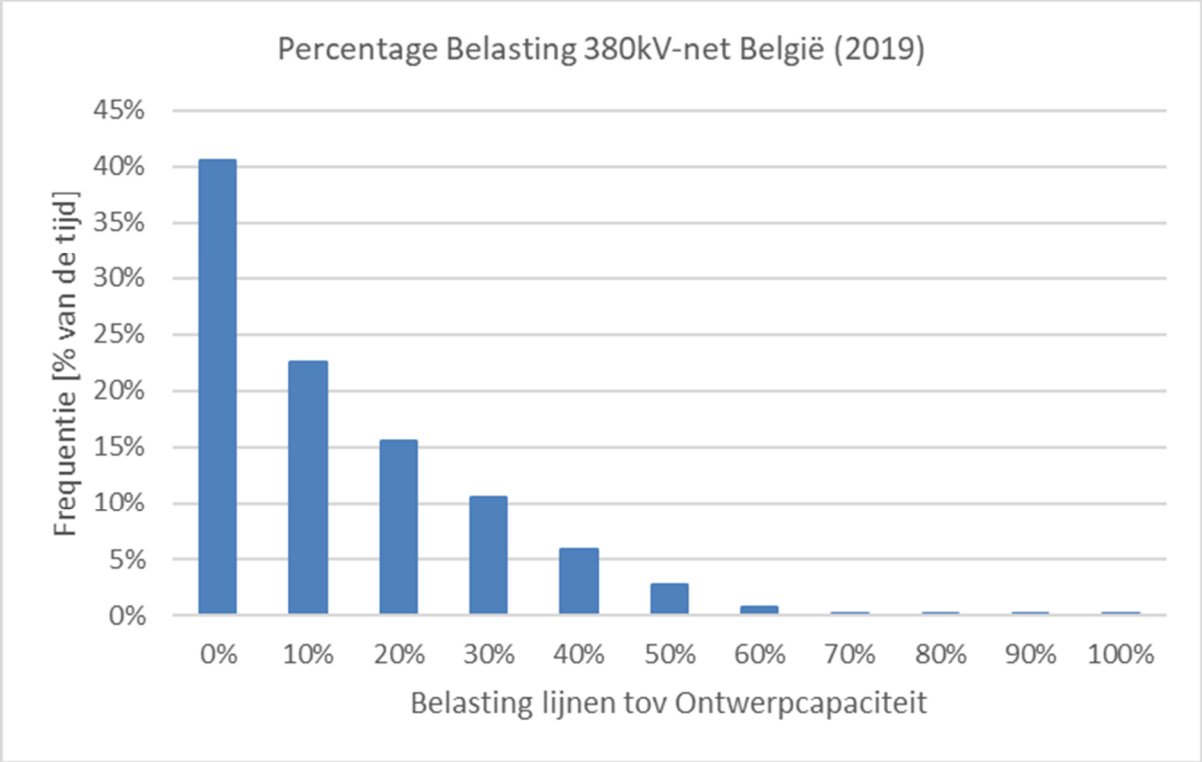
Referentiegegevens voor het bestaande 380kV-hoogspanningsnet

De bovenstaande informatie voor de Ventilus-verbinding is afkomstig uit berekeningen van de netbeheerder Elia op basis van de geplande aansluitingen (productie en verbruik) aan de kust en in West-Vlaanderen.

Als referentiepunt worden hieronder de meetgegevens getoond van de belastingen van de reeds bestaande lijnen 380kV in het Belgische net. Onderstaande grafiek toont voor het hele Belgische 380kV-net samen hoe vaak een bepaald percentage belasting[13] voorkomt t.o.v. de ontwerpcapaciteit gedurende een jaar:

[12] Omvallen mast, obstakel in de lijn, ernstig incident in hoogspanningsstations, …

[13] De kolommen bevatten waarden die 5% hoger en lager liggen dan getoond in de X-as. Bv de kolom 20% geeft de frequentie van belastingen voor tussen 15 en 25%.



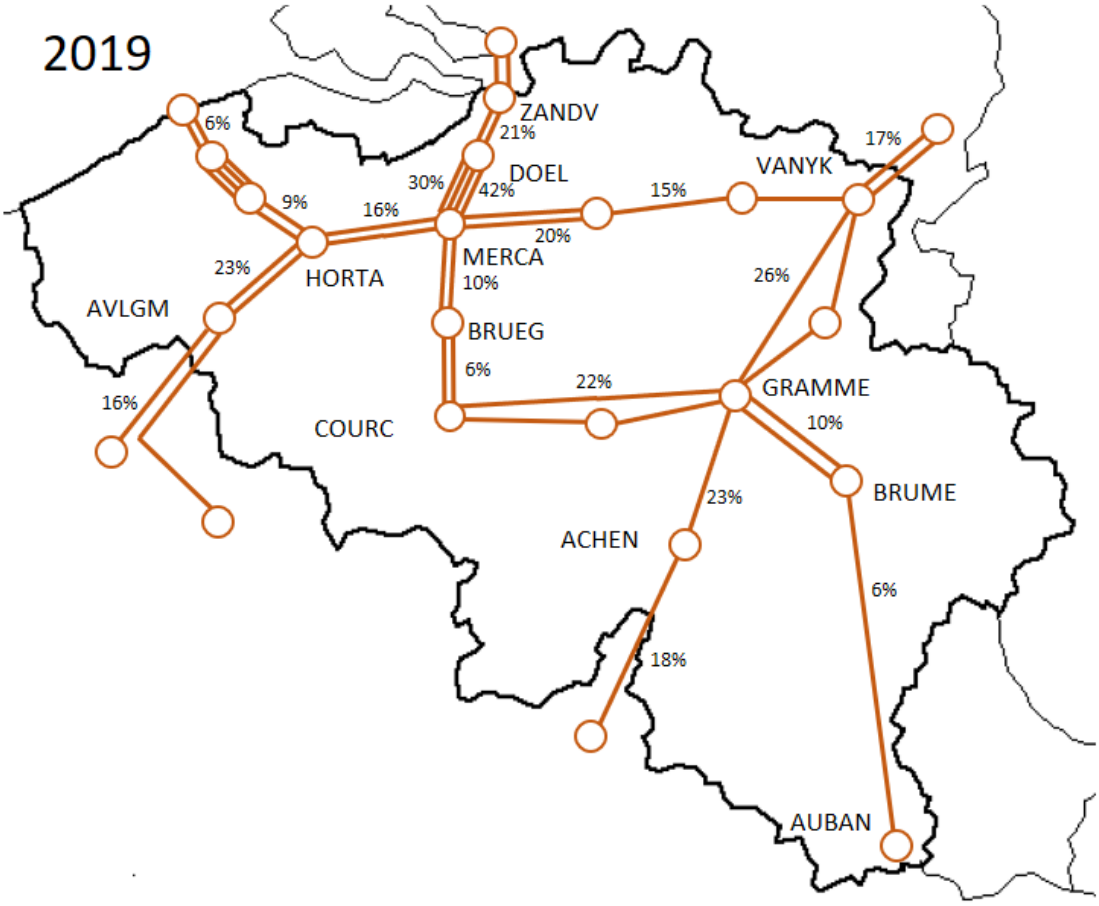
Voor het gehele Belgische 380kV-hoogspanningsnet geldt hetzelfde als wat voor de Ventilus-verbinding berekend werd:

- gemiddeld zijn 380kV-hoogspanningsverbindingen een groot deel van de tijd beperkt belast (op individueel niveau, maar uiteraard niet over het gehele netwerk tezelfdertijd).
- gemiddelde belastingen tot 20 à 30% zijn de norm.
- hoge belastingen (> 80%) komen zeer zelden voor. Enkel in het geval van incidenten op andere lijnen wordt kortstondig de maximale ontwerpcapaciteit van de andere lijn in de lus gebruikt. Dit biedt Elia de mogelijkheid om maatregelen te nemen om het elektriciteitsnet terug te normaliseren en klaar te maken om een volgend incident op te vangen.

De bovenstaande informatie is het gemiddelde voor alle hoogspanningslijnen van het volledige Belgische 380kV-hoogspanningsnet. Niet elke hoogspanningsverbinding daarin wordt evenveel belast. Onderstaande figuur, waarop de gemiddelde belastingen op jaarniveau per 380kV-hoogspanningsverbinding staan, toont dit aan. Hier is te zien dat:

- de gemiddelde effectieve belastingen schommelen rond 20% van de ontwerpcapaciteit van de verbinding. (Dit is wat lager dan de voor Ventilus overschatte berekende waarden)
- bij enkele uitschieters ligt de gemiddelde belasting hoger. Dit zijn de verbindingen tussen Doel en Mercator. Deze lijnen zijn momenteel zwaar belast. Met de realisatie van het Brabo-project zal de gemiddelde belasting hiervan afnemen. De bestaande 150kV-lijnen in die omgeving krijgen een upgrade naar 380kV.
- een aantal lijnen zijn (procentueel ten opzichte van hun ontwerpcapaciteit) weinig belast.

Ter herinnering: het is niet de gemiddelde belasting die de ontwerpcapaciteit bepaalt, maar de benodigde capaciteit in geval van incidenten.



3.10.5.2 Te gebruiken kenmerken van het mogelijke hoogspanningsproject

Het magnetisch veld van een hoogspanningslijn is afhankelijk van een aantal factoren zoals de configuratie van de masten, de doorhang van de geleiders en de afstand tussen de masten. Bij ondergrondse lijnen is dat de configuratie van de geleiders (bv. langsliggend), de afstand tussen de circuits en de diepte onder het maaiveld.

Bij het milieueffectenonderzoek op het planniveau zijn er echter nog geen exacte projectkenmerken gekend. Zo zijn bijvoorbeeld de individuele locaties van de masten ongekend, zijn de hoogtes van de individuele masten ongekend en zijn bijgevolg ook de afstanden van de geleiders tot het grondoppervlak en woningen ongekend.

Ook voor de mogelijke ondergrondse verbindingen ontbreken de specifieke projectkenmerken.

Om met deze onbekendheid op planniveau rekening te houden, wordt een realistische worst case benadering gebruikt. Eens de projectkenmerken wel gekend zijn, zal de 0,4 µT contour verder verfijnd kunnen worden, waardoor het exacte aantal woningen binnen de 0,4 µT contour zal kunnen berekend worden. In het plan-MER zal bijgevolg een zo realistisch mogelijk eerste inschatting van het aantal woningen gegeven worden. Op die manier kunnen grote verschillen tussen de te onderzoeken alternatieven / varianten gedetecteerd worden, wat de focus van het onderzoek is.

De realistische worst-case houdt rekening met onderstaande uitgangspunten:

- Voor de jaargemiddelde belasting wordt uitgegaan van 30%, wat cf hoger toegelicht hoger is dan de verwachte gemodelleerde jaargemiddelde belasting.
- Voor bovengrondse hoogspanningslijnen waarbij de masten behouden kunnen blijven, zijn alle gegevens voor een detailberekening beschikbaar.

- Voor bovengrondse hoogspanningslijnen waar nieuwe masten gebouwd worden, wordt een realistische worst-case benadering gebruikt. Daarvoor wordt de minimaal mogelijke afstand van de geleiders tot een woning genomen. De minimale afstand komt voor waar een woning recht onder de hoogspanningslijn zou staan en dit op het punt waar de hoogspanningslijn het laagste hangt tussen twee masten. Hierbij wordt rekening gehouden met de veiligheidsafstanden van de hoogspanningslijn. Op dit punt is het magnetisch veld op grondniveau het hoogste omdat de geleiders hier het dichtst bij de grond komen. Bij de meeste masten zullen de geleiders hoger hangen omdat die masten hoger zijn en/of de masten dichter bij elkaar staan. Bovenop de zo berekende veldcontour wordt nog bijkomend een extra marge van 10 m genomen. De breedte van die berekende veldcontour wordt vervolgens geëxtrapoleerd naar alle trajecten waar nieuwe masten gebruikt worden. Dit wordt voor twee types masten berekend:
    - Compacte Vakwerkmast (Elia-Type C.03.25)
        - Hoogte masten: 48m
        - Doorhang: 10,9m
        - Afstand tussen twee masten: 350m
        - Blootstellingshoogte: 1,5m
        - Berekening maximale waarde centraal op 175m
    - Wintrack-mast
        - Hoogte masten: 48m
        - Doorhang: 10,06m
        - Afstand tussen twee masten: 34.5m
        - Blootstellingshoogte: 1,5m
        - Berekening maximale waarde centraal op 167.25m

Het verschil in magneetveldcontour tussen de compacte vakwerkmast en de wintrackmast is enkele meters, wat overeenkomt met de resolutie van de berekening. De berekeningen worden daarom uitgevoerd voor de compacte vakwerkmast.

- Voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen wordt gebruik gemaakt van aannames over de projectkenmerken, zoals opgenomen in paragraaf 4.1.4 van de scopingnota.

3.11 Klimaat

In de plan-MER zal verder onderzocht worden of er door de aanleg of uitbreiding van hoogspanningsstations een aanzienlijke biotoopinname plaatsvindt. In deze fase kan er echter wel al gesteld worden dat de mogelijke biotoopinname niet zal leiden tot een aanzienlijk effect op het klimaat, zowel op globaal als lokaal niveau. Het planvoornemen heeft daarnaast ook geen bepalende of aanzienlijke impact op de grondwatervoorraden.

De locaties voor de aanleg of uitbreiding van een hoogspanningsstation omvatten hoofdzakelijk geen overstromingsgevoelige gronden, enkel de locatie in aansluiting met de bestaande post Stevin is gelegen in overstromingsgevoelig gebied. Om het risico op overstromingen te beperken, wordt het maaiveld ter hoogte van de hoogspanningsstations (mogelijks) verhoogd. Mogelijke effecten zullen onderzocht worden in de discipline Water. Bebouwing en verharding kunnen een potentiële invloed uitoefenen op overstromingszones. Zowel direct als indirect. De locatie in aansluiting met het station Stevin is gelegen in signaalgebied, voor de overige locaties geldt dat er geen signaalgebieden gelegen zijn in of in de ruime omgeving. Het planvoornemen heeft in principe geen aanzienlijke impact op het ontwikkelen van nieuwe overstromingsgevoelige zones.

Het planvoornemen is niet van die aard (verwaarloosbaar bijkomend verkeer, verwarmingsemissies gebouwen) dat er een relevante impact op broeikasgassen wordt verwacht. Gezien het vrijkomen van SF6 gas enkel bij uitzonderlijke situaties het geval kan zijn, wordt dit niet als een relevant effect beschouwd. Het planvoornemen maakt indirect de realisatie van bijkomend duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk. Een positieve impact wordt niet op bovenlokaal niveau verwacht.

In de disciplines die nog verder worden onderzocht wordt tevens de klimaatreflex op lokaal niveau toegepast.

In de plan-MER zal het effect van het totale planvoornemen beoordeeld worden.

3.12 Veiligheid

De toekomstige hoogspanningsstations worden om veiligheidsredenen omheind zodat onbevoegden zich niet op het terrein kunnen begeven.

Ten aanzien van windturbines dienen bij hoogspanningsposten een aantal afstandsregels in acht genomen te worden. Deze zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

Bij werken aan GIS-installaties zijn er bepaalde gevaren en risico's verbonden voor het personeel binnen het hoogspanningsstation en het klimaat:

- SF6 is zwaarder dan lucht en kan in gesloten ruimtes de lucht – en dus ook de zuurstof – verdrijven waardoor zich verstikkingsgevaar voordoet;
- Bij hogere temperaturen (> 500°C) ontstaan er ontbindingsproducten waarvan sommige toxisch en irriterend zijn;
- Snelle ontsnapping van SF6 onder druk (uit bv. een gasfles) resulteert in een sterke temperatuurdaling waardoor een gevaar voor bevriezing ontstaat;
- Het gas bevindt zich onder druk zodat er steeds explosiegevaar is, vooral bij toevoer van warmte.
- Wanneer SF6 in de atmosfeer terechtkomt is dit zeer schadelijk voor het milieu (broeikasgas met als gevolg zure regen en klimaatopwarming)

Er worden echter een aantal preventieve maatregelen tijdens de onderhoudswerken gehanteerd, waaronder:

- Het lokaal moet doorlopend geventileerd worden.
- Onder installaties met SF6 wordt een kelderruimte voorzien die de SF6 kan opvangen bij een eventueel lek.
- Het afdalen in de kelder mag in twijfelgevallen slechts gebeuren na voorafgaandelijke controle van het O2-gehalte.
- Opmerking: het vrijkomen van grote hoeveelheden SF6-gas uit de hoogspanningsinstallaties veroorzaakt alarmen in de betreffende velden, waardoor men zich vooraf een idee kan vormen over de grootte van het lek. Gezien de relatief lage drukken en volumes, zou de gasinhoud van de volledige installatie al in de kelder moeten terechtkomen, vooraleer er een klein verstikkingsrisico ontstaat (SF6/lucht < 12 a 16%¨)
- Onderhoudswerken waarbij SF6 -gas kan vrijkomen, worden steeds uitgevoerd met minstens twee personen.
- Men mag nooit in een SF6- compartiment kruipen, zonder veiligheidskoord, waarvan het uiteinde bewaakt wordt door een tweede persoon. Bijzondere aandacht moet hier besteed worden aan moeilijk ventileerbare compartimenten (opening langs boven).
- Het gebruiken van persoonlijke beschermingsmiddelen (werkkleding, handschoenen, veiligheidsbril) ter preventie van vrieswonden.
- Om temperaturen boven de 500°C te vermijden mag niet gerookt of gelast worden in de buurt van SF6-gas of met SF6-gas gevulde installaties

Er kan geoordeeld worden dat indien de nodige preventieve maatregelen worden genomen, het risico op onveilige situaties kan beperkt worden en er geen relevante permanente effecten verwacht worden.

Aangezien er voor het voorgenomen plan ook een ruimtelijk veiligheidsrapport wordt opgesteld, zal in de plan-MER globaal aangegeven worden wanneer aandacht nodig is voor de risico's voor ongevallen met/bij hoogspanningsstations /-installaties en voor de aanwezigheid van ondergrondse structuren (leidingen allerhande) die qua risico-inschatting vooral belangrijk zijn wanneer ze bij technische werkzaamheden worden genaderd of gekruist (risico's voor ongevallen) (is vooral belangrijk op projectniveau).

In de plan-MER zal het effect van het totale planvoornemen beoordeeld worden.

4 Bovengrondse hoogspanningsverbinding

Enkel voor de verbinding tussen de aanlandingslocatie en het nieuwe hoogspanningsstation TBD / convertiestation wordt sowieso een ondergrondse verbinding onderzocht. Voor alle andere corridors is de aanleg van een bovengrondse verbinding de referentietechnologie (met uitzondering van het meest westelijk stuk van het hoofdalternatief "parallel met Stevin" waar het uitgangspunt is dat dit deel ondergronds wordt aangelegd, parallel aan het bestaande ondergronds deel van de Stevin-as). Voor de meeste corridors wordt naast een bovengrondse hoogspanningsverbinding ook een gedeeltelijke ondergrondse aanleg onderzocht, zie §5 van deze bijlage. Een beschrijving van de te onderzoeken corridors voor bovengrondse verbindingen is terug te vinden in §6 van de scopingnota.

Een bovengrondse verbinding kan gerealiseerd worden door het versterken van een bestaande lijn, het herbenutten van een bestaand tracé of het realiseren van een nieuw tracé (zie scopingnota). Daar waar een 150 kV tracé kan herbenut worden, wordt de hoogte van de nieuwe 380 kV masten als "voldoende gelijkwaardig" beschouwd bij de gemaakte beoordelingen in vergelijking met de bestaande 150 kV masten[14].

Sommige van de te versterken of te herbenutten tracés zijn planologisch niet aangeduid op een plan van aanleg, waardoor er voor die tracés een verschil is tussen de juridische en feitelijke referentiesituatie:

- Het te versterken 380 kV tracé tussen Izegem en Avelgem;
- Het te herbenutten 150 kV tracé tussen Koksijde en Beerst[15];
- Het te herbenutten 150 kV tracé tussen Beerst en Westrozebeke;
- Het te herbenutten 150 kV tracé tussen Staden Pittem, met uitzondering van het deel tussen de E403 en Pittem;
- Het te herbenutten 150 kV tracé tussen Beveren (Roeselare) en Rumbeke en vanaf Rumbeke richting het zuidoosten tot ongeveer aan de N36;
- Het te herbenutten 150 kV tracé tussen Tielt en Pittem;
- Een beperkt deel van het te herbenutten 70 kV tracé ten noordoosten van Moorslede.

Voor deze zones zal bijgevolg een beoordeling gemaakt worden ten opzichte van zowel de feitelijke als de juridische referentiesituatie.

4.1 Bodem

4.1.1 Eerste beoordeling

<u>Bodemverstoring en grondstofvoorraden</u>

Het planvoornemen voorziet voor de bovengrondse hoogspanningsverbindingen slechts beperkt in de mogelijkheid tot vergraving of graafwerkzaakheden en een wijziging van verharding, met name enkel ter hoogte van de toekomstige nieuwe masten. Gezien bij de tracés waar een 150 kV lijn kan herbenut worden, toch nieuwe masten moeten geplaatst worden, geldt dit zowel voor nieuwe tracés als bij het herbenutten van bestaande lijnen. Daar waar bestaande lijnen kunnen versterkt worden, wordt (hoofdzakelijk) slechts minimale vergraving voorzien. De exacte locatie van deze masten wordt niet aangeduid binnen het RUP, echter het tracé van de bovengrondse hoogspanningsverbinding is wel sturend voor de ligging van de masten.

- Effecten op **bodemprofielvernietiging en verstoring** zijn relevant daar waar masten kunnen gerealiseerd worden in bodems die kwetsbaar zijn voor profielvernietiging. De bovengrondse inname van vakwerkmasten bedraagt hierbij gemiddeld ca. 11m op 11m (echter vergraving

[14] Ter info: een 150 kV-mast heeft normaal een gemiddelde hoogte van ca. 50-55m en een 380 kV-mast heeft een gemiddelde hoogte van 55 – 60 m.

[15] Ter info: het 70 kV tracé tussen Koksijde en Beerst is wel planologisch bestemd

dient enkel ter hoogte van de hoekpunten te gebeuren) en ca. 20m op 3m bij wintrackmasten, waarbij vergraving enkel nodig is ter hoogte van de fundering van de buispalen zelf.

- Ter hoogte van de zone waar de nieuwe masten zullen gerealiseerd worden, zijn de mogelijke effecten van **verdichting** niet relevant (gemiddeld ca. 11m x 11m). Echter, effecten van verdichting kunnen zich ook voordoen ter hoogte van de werkzone voor het aanleggen van de masten (ca. 50m x 50m) en de toegangsweg naar de masten, en kunnen dus daar wel relevant zijn, indien deze bodems kwetsbaar zouden zijn voor verdichting.

De significantie van het effect wordt bepaald aan de hand van de omvang van het effect. Echter, er kan verondersteld worden dat de totale oppervlakte die zal vergraven worden voor het plaatsen van de masten bij alle hoofdalternatieven en varianten beperkt zal zijn en de mogelijke vergravingen zijn verspreid over het volledige tracé. Voor een tracé via het hoofdalternatief via de E403 dienen ca. 60 tot 110 nieuwe mastlocaties gerealiseerd te worden, afhankelijk van de gekozen variant en het uiteindelijke tracé, wat neerkomt op een vergraving van ca. 0,75 ha tot 1,3 ha verspreid over de volledige zone van de kust (locatie TBD) tot Izegem. De lengte van het hoofdalternatief via Koksijde is eveneens afhankelijk van de gekozen varianten/corridors, waarbij er over een afstand van ca. 30 tot 35 km nieuwe mastlocaties dienen gerealiseerd te worden wat neerkomt op een vergraving van ca. 1 à 1,2 ha. Voor het hoofdalternatief via de E40 zijn mogelijks ca. 120 nieuwe mastlocaties noodzakelijk, wat een vergraving van ca. 1,4 ha betekent. Voor het hoofdalternatief "parallel aan Stevin en Horta-Avelgem" dienen vanaf Brugge tot in Deinze nieuwe mastlocaties aangelegd te worden, wat neerkomt op een vergraving van ca. 0,8 ha. Bij het hoofdalternatief via Eeklo-Aalter-Tielt zijn ca. 70 nieuwe mastlocaties noodzakelijk, wat neerkomt op een vergraving van ca. 0,8 ha. Daarnaast zal bij het herbenutten van bestaande tracés de nieuwe mast regelmatig op dezelfde plaats komen als de huidige mast. Er kan in dit geval aangenomen worden dat de bodem er in het verleden reeds vergraven is geweest. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat bij het herbenutten ook optimalisaties mogelijk zijn waarbij de verharding van de bestaande masten verwijderd wordt en de nieuwe masten op een andere (nabije) locatie zullen staan.

Gezien de totale oppervlakte die potentieel (nieuw) vergraven zal worden en binnen kwetsbaar gebied gelegen is, beperkt is, kan gesteld worden dat er globaal geen aanzienlijke effecten inzake profielvernietiging verwacht worden. Op uitvoeringsniveau kunnen lokale verschuivingen van de mastinplanting wel aangewezen zijn om negatieve effecten ten aanzien van profielverstoring maximaal te beperken.

Bovenstaande inschattingen werden gemaakt rekening houdende met gemiddelde afmetingen van vakwerkmasten en het feit dat die oppervlakte volledig zou vergraven worden (wat niet het geval is). De effectieve te vergraven oppervlakte bij wintrackmasten zal in dezelfde grootte orde liggen als de vakwerkmasten, waardoor de gemaakte conclusies ook gelden voor wintrackmasten.

Op uitvoeringsniveau zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten inzake verdichting voldoende te beperken of zelfs te voorkomen (vb. gebruik van rijplaten, machines op rupsbanden, afgraven van teelaarde ter hoogte van de werfdepots en aanbrengen van een bitumendoek met daarop steenslag,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen en deze effectgroep niet verder onderzocht zal worden in de plan-MER.

Diepe en omvangrijke ondergrondse constructies (zoals aaneengesloten parkeergarages e.d.m.) worden niet voorzien bij het aanleggen van bovengrondse hoogspanningslijnen. Voor het realiseren van de masten zijn wel funderingspalen noodzakelijk (waarbij een beperkte bouwput met bemaling kan noodzakelijk zijn), echter deze zijn beperkt in omvang. Ten gevolge van de uitvoering van grondwerken wordt geen verhoogd risico vanuit **zettingen** die mogelijk schade kunnen opleveren aan omliggende structuren verwacht. Effecten op stabiliteit van omliggende structuren worden dan ook op dit planniveau als verwaarloosbaar ingeschat. Indien er in de fase van uitvoering meer gedetailleerde informatie over de stabiliteit wordt verkregen en er slappere lagen zouden voorkomen, kunnen er op uitvoeringsniveau steeds voorzorgen worden genomen om de potentieel negatieve effecten te herleiden tot een verwaarloosbaar tot beperkt negatief effect.

Het planvoornemen heeft niet de uitbating van de ondergrond tot doel. Een beperkt aantal van de te onderzoeken corridors overlapt plaatselijk wel (beperkt) met ontginningsgebied. Een impact op de **grondstofvoorraden** kan verwacht worden indien een nog niet-ontgonnen zone gehypothekeerd wordt door uitvoering van het planvoornemen. Deze effectgroep zal dan ook nader onderzocht worden in de plan-MER.

Bodemkwaliteit

Binnen de te onderzoeken corridors en binnen een straal van 500m rondom de te beoordelen corridors voor het ontwikkelen van bovengrondse tracés zijn reeds meerdere dossiers gekend in de OVAM-databank. O.b.v. de informatie beschikbaar op https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/maatregelen-per-gemeente en de PFAS-verkenner PFAS (vlaanderen.be) blijkt dat er binnen of in de omgeving van de te onderzoeken corridors zijn waar no regret maatregelen van toepassing zijn (raadpleging dd 12/09/2022)[16]. Mocht bij de verdere uitwerking blijken dat er toch risico's inzake de verspreiding PFAS zouden zijn, dan zullen de nodige maatregelen cfr de sectorwetgeving genomen worden.

Tijdens de aanlegfase is een verspreiding van een (rest) verontreining mogelijk daar waar bemaald wordt voor de aanleg van nieuwe masten. Tijdens de werken kunnen calamiteiten ontstaan (vb. door lekkende brandstoftanks en/of lekkende olie- en brandstofleidingen van machines en voertuigen, of door morsen bij het vullen van brandstoftanks). Gezien de nodige voorzorgen kunnen worden genomen om het risico op dergelijke calamiteiten te beperken en de geldende wetgeving inzake het vermijden van verspreiding van bodemverontreinigingen dient gevolgd te worden, worden geen aanzienlijke effecten verwacht.

Gezien de aard van de activiteiten (transport van energie via een bovengrondse hoogspanningsverbinding) zijn risico's op bodemverontreiniging in de exploitatiefase verwaarloosbaar.

Er worden vanuit het planvoornemen dan ook geen aanzienlijke effecten op bodemkwaliteit verwacht. Een strikte opvolging van de wetgeving ter zake maakt dat het risico op bodemverontreiniging tot een minimum wordt herleid. Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht worden in de plan-MER.

Bodemstabiliteit en erosie

Het voorgenomen plan voorziet voor de nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbindingen slechts beperkt een gewijzigd bodemgebruik, met name ter hoogte van nieuwe masten. Dit kan als worst-case beschouwd worden, want de masten zullen grotendeels aangelegd worden in landbouwgebied en landbouwgebruik blijft veelal wel mogelijk ter hoogte van de masten. De exacte locatie van deze masten wordt niet aangeduid binnen het GRUP, echter het tracé van de bovengrondse hoogspanningsverbinding is wel bepalend voor de ligging van de masten. Per nieuwe mast is de oppervlakte die bijkomend verhard zal worden aan de oppervlakte zeer beperkt. Grote reliëfwijzigingen zijn vanuit het planvoornemen niet aan de orde. Plaatselijk kan de vegetatie wel wijzigen.

Ook zijn de landbouwpercelen ter hoogte van nieuwe hoogspanningsverbindingen op de potentiële erosiegevoeligheidskaart hoofdzakelijk ingekleurd als percelen met een zeer lage of verwaarloosbare erosiegevoeligheid. Beperkte uitzonderingen hierop zijn:

- Voor het hoofdalternatief via de E403, op de grens van Lichtervelde en Ardooie zijn enkele percelen gelegen die geklasseerd worden als percelen met een lage erosiegevoeligheid;
- Voor het hoofdalternatief via Koksijde loopt er van Diksmuide naar Houthulst en Staden een heuvelrug, waardoor bepaalde percelen heel lokaal overlappen met percelen met een lage erosiegevoeligheid;

[16] *De PFAS-verkenner fungeert als het centraal platform waarop alle datastromen in de verschillende milieu-compartimenten gericht worden. Een traject is lopende om data systematisch te ontsluiten naarmate resultaten beschikbaar en gevalideerd zijn. Op dit ogenblik is dit nog in opbouw waardoor er geen volledigheid geboden kan worden.* ***Het niet aanwezig zijn van informatie in de PFAS-verkenner mag dus niet leiden tot de conclusie dat er geen verontreiniging aanwezig is.***

- Voor het hoofdalternatief “parallel aan Stevin” geldt dat er een heuvelrug gekruist wordt ter hoogte van Anzegem, waardoor daar plaatselijk percelen gekruist worden met een matige tot (zeer) hoge erosiegevoeligheid.
- Voor het hoofdalternatief via de E40 en via Eeklo-Aalter-Tielt geldt dat er ten noorden van Tielt een aantal percelen voorkomen met een verhoogde potentiële erosiegevoeligheid.

Ter hoogte van deze beperkte uitzonderingen dient het reliëf niet gewijzigd te worden voor de aanleg van een bovengrondse verbinding. Hoogstens zullen er ter hoogte van de masten beperkte nivelleringen gebeuren. Er wordt hierdoor geen relevante bijkomende erosiegevoeligheid verwacht.

Ter hoogte van het tracé tussen Izegem en Avelgem zijn er zeer lokaal ook percelen met een lage tot matige potentiële erosiegevoeligheid. Echter, in deze zone wordt de bestaande lijn versterkt door het aanpassen van de geleiders. De bestaande masten kunnen behouden worden. Grondwerken blijven beperkt tot de aanpassingen aan funderingen. Wegens de beperkte omvang van deze grondwerken, zijn er geen relevante effecten inzake erosie te verwachten.

Door uitvoering van het voorgenomen plan zijn niet enkel wijzigingen in bodemgebruik te verwachten ter hoogte van de masten, onder de geleiders zullen hoge bomen eveneens verwijderd worden. Echter, effecten van het verwijderen van bomen / bos zijn met betrekking tot erosie en bodemstabiliteit enkel relevant, daar waar ze gelegen zijn op een hellend perceel. Daar waar bosvegetatie gekruist wordt door de te onderzoeken corridors voor een bovengrondse verbinding, is het reliëf nagenoeg volledig vlak, waardoor geen relevante effecten inzake erosie verwacht worden.

In de zone tussen Izegem en Avelgem, in de omgeving van Roeselare, ter hoogte van het zuidelijke deel van het hoofdalternatief “parallel aan Stevin” (ter hoogte van Avelgem) en het oostelijk deel van het hoofdalternatief via Koksijde worden meerdere zones aangeduid als “gevoelig voor grondverschuivingen”. Echter, meestal betreft het de taluds van grotere wegen die (foutief) door het model aangeduid worden. De heuvelrug van Diksmuide tot Houthulst/Staden en de meeste aanduidingen in het zuidelijk deel van het hoofdalternatief parallel aan Stevin betreffen wellicht wel correcte aanduidingen. In deze zones staan momenteel reeds 150 kV of 380 kV- masten en volgens de gegevens op DOV komen er geen gekende/gekarteerde grondverschuivingen voor. Er kan bijgevolg aangenomen worden dat door het plaatsen van masten, het risico op een grondverschuiving niet significant toeneemt. De funderingen van de masten zijn dieper dan de mogelijke grondverschuivingen waardoor de masten eerder een stabiliserend effect zullen hebben en geen hinder zouden ondervinden van een eventuele grondverschuiving.

Rekening houdend met de aard van het planvoornemen/de potentiële ingrepen (zoals heel beperkt en plaatselijk vegetatiewijziging en vergraving) en het gegeven dat het plaatsen van masten geen significant bijkomend risico op grondverschuivingen betekent, kan er redelijkerwijze worden geconcludeerd dat er geen significante effecten t.a.v. erosie optreden (en dus zeker ook geen aanzienlijke effecten). Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

<u>Erfgoedwaarde</u>

De meeste voorliggende tracés interfereren niet met waardevolle bodems. Enkel het tracé van Oostende naar Brugge die de bestaande 150 kV lijn herbenut, loopt over een afstand van ca. 3 km dwars door de Moeren, welke aangeduid worden als bodemkundig erfgoed en dit omwille van het feit dat de bodem er genetisch kenmerkend, geogenetisch zeldzaam en gaaf/onverstoord is. Momenteel bevinden zich 9 masten in dit gebied. In de noordelijke variant 9b, 9c en 9d zullen hier enkel de bestaande masten vervangen worden op dezelfde plaats, waardoor kan aangenomen worden dat het bodemkundig erfgoed op die plaats reeds verstoord is en geen bijkomende relevante verstoring zal plaatsvinden. In variant 9a zullen naast de 9 bestaande masten, 9 nieuwe masten dienen gerealiseerd te worden waarbij in totaal een maximale vergraving van ca. 0,1 ha zal plaatsvinden binnen de zone met bodemkundig erfgoed. De totale oppervlakte van de zone die aangeduid wordt als bodemkundig erfgoed ter hoogte van de Moeren bedraagt ca. 570 ha. Een verlies van ca. 0,1 ha wordt bijgevolg ten aanzien van de totale zone als verwaarloosbaar beoordeeld.

Ook de variant via Oostkamp (horende bij het hoofdalternatief via de E403) overlapt in het zuidwesten met een zeer beperkte zone die als bodemkundig erfgoed aangeduid wordt. Op uitvoeringsniveau is

het mogelijk te vermijden dat een mastinplanting zou overlappen met deze beperkte zone, waardoor mogelijke effecten als niet relevant worden beschouwd.

Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

Verharding

Uitvoering van het planvoornemen gaat heel beperkt gepaard met bijkomende verharding, met name ter hoogte van de funderingszone van de toekomstige masten. Bij verbindingen waar bestaande lijnen kunnen herbenut worden, betekent dit dat de bestaande masten zullen worden afgebroken en een aantal van de nieuwe masten zelfs op dezelfde plaats worden gerealiseerd (echter optimalisaties waarbij de verharding van de bestaande masten verwijderd wordt en de nieuwe masten op een andere locatie zullen staan zijn mogelijk). Mogelijke effecten inzake (bijkomende) verharding zullen heel beperkt zijn en hebben mogelijks betrekking op grondwater (wijziging infiltratie en run off) en oppervlaktewater (mogelijk bijkomend risico op overstromingen) en worden bijgevolg besproken onder de discipline Water.

4.1.2 Nader te onderzoeken

Inzake bovengrondse hoogspanningsverbindingen worden voor de meeste effectgroepen geen aanzienlijke effecten verwacht wat betreft de discipline bodem op planniveau. De mogelijke effecten werden voor die effectgroepen voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. De effectgroep “grondstofvoorraden” zal wel verder onderzocht worden in de plan-MER, gezien een aantal van de te onderzoeken corridors kruist met ontginningsgebied.

4.1.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld. Wat betreft de beschrijving van de grondstofvoorraden zal in eerste instantie gebruik gemaakt worden van de aangeduide gebieden op het gewestplan. Indien beschikbaar, zal nagegaan worden in welke mate deze zone(s) in het verleden reeds ontgonnen is (zijn), gezien een verlies van grondstoffen zich potentieel enkel kan voordoen, daar waar de grondstoffen nog niet ontgonnen zijn.

4.1.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten inzake grondstofvoorraden zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Bodem.

Wat betreft de beschrijving van de grondstofvoorraden zal in eerste instantie gebruik gemaakt worden van de aangeduide gebieden op het gewestplan. Indien beschikbaar, zal nagegaan worden in welke mate deze zones in het verleden reeds ontgonnen zijn, gezien een verlies van grondstoffen zich potentieel enkel kan voordoen, daar waar de grondstoffen nog niet ontgonnen zijn. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand (vb. een zone wordt aangeduid als ontginningsgebied, maar is in het verleden reeds volledig ontgonnen), zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

Tabel 4-1: beoordelingscriteria en significantiekader discipline bodem

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Grondstof-voorraden	Wijziging grondstof-voorraden	Bepaling potentieel oppervlakteverlies ontginnings-gebied (in m²);	Relatieve oppervlakte die verloren gaat t.o.v. omgeving

4.2 Water

4.2.1 Eerste beoordeling

Grondwater

Het planvoornemen zal inzake het aanleggen van bovengrondse hoogspanningsverbindingen geen aanleiding geven tot het realiseren van grootschalige ondergrondse constructies (dit geldt zowel bij het gebruik van vakwerkmasten als wintrackmasten). Hierdoor worden er geen aanzienlijke effecten verwacht inzake **grondwaterstroming**. Deze effectgroep zal bijgevolg voor bovengrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Bij bovengrondse hoogspanningsverbindingen beperkt de verharde oppervlakte zich tot de funderingszone van de (nieuwe) mast. Ter hoogte van de masten zal het afstromende regenwater kunnen infiltreren in de naastliggende zones. Er worden hierdoor geen aanzienlijke effecten verwacht op de **grondwaterkwantiteit** in de exploitatiefase. Deze effectgroep zal bijgevolg voor bovengrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

De te onderzoeken corridors voor een bovengrondse verbinding, zijn ter hoogte van bepaalde (deel)tracés gelegen ter hoogte van of in de directe omgeving van een **grondwaterwinning voor drinkwater**:

- Hoofdalternatief via E403: ten zuiden van Brugge is de grondwaterwinning van Snellegem gelegen, welke overlapt met een corridor waar de 380 kV-geleiders op de bestaande masten kunnen aangebracht worden en de bestaande masten moeten versterkt worden. Ook de variant via Oostkamp overlapt met deze grondwaterwinning. Er is in beide gevallen een overlap met de beschermingszone I, II en III.
- Het meest zuidelijk deel van het tracé tussen Izegem en Avelgem en het zuidelijk deel van het hoofdalternatief “parallel aan Stevin” overlappen met beschermingszone III van de grondwaterwinning “Avelgem-Waarmaarde-Kerkhove”.
- Hoofdalternatief “parallel aan Stevin”: ten noorden van Eeklo overlapt het corridor met de beschermingszone III van de grondwaterwinning “Eeklo-Kaprijke”.
- Hoofdalternatief via de E40: dit hoofdalternatief overlapt ter hoogte van de op- en afrit Beernem met beschermingszones I, II en III van de grondwaterwinning van Beernem.

Daar waar de masten kunnen hergebruikt worden, zijn de mogelijke werken beperkt tot het versterken van de funderingen ter hoogte van de bestaande masten. Ten zuiden van Brugge is één bestaande mast gelegen in beschermingszone II. In deze zone zijn graafwerken dieper dan 2,5 m onder het maaiveld verboden cfr. de geldende sectorwetgeving. De nodige funderingswerken zullen mogelijks dieper zijn dan 2,5 m onder het maaiveld. De mogelijke effecten zullen daarom onderzocht worden in de plan-MER.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een **bemaling** zal nodig zijn voor het aanleggen van de nieuwe masten. Op voorhand kan een bemaling van meerdere weken in een kwetsbaar gebied niet uitgesloten worden. Dit kan mogelijks voor negatieve effecten zorgen (vb. op de voorkomende vegetatie, op eventuele grondwaterwinningen, inzake verstoring van het zoet/zout evenwicht, voorkomen van veengebieden). De meest kwetsbare zone binnen het plangebied is de kust- en polderzone, wegens het voorkomen van poldergraslanden en verzilt grondwater. Indien hier nieuwe masten moeten aangelegd worden, zullen deze op een afstand van ca. 350 m van elkaar staan, zodat eventuele (punt)bemalingen zich ook op een afstand van ca. 350 m ten opzichte van elkaar zullen bevinden. Er kan daarnaast ook gesteld worden dat er op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar zijn om mogelijke effecten van dergelijke (punt)bemalingen met een beperkte duur voldoende te milderen (of te voorkomen), waardoor mogelijke effecten kunnen beperkt worden tot een niet-permanent effect. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet zullen

voorkomen. Deze effectgroep zal bijgevolg voor bovengrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Met betrekking tot de **grondwaterkwaliteit** kunnen dezelfde conclusies getrokken worden als zijnde reeds aan bod gekomen onder de discipline bodem – effectgroep bodemkwaliteit. Bijkomend kan opgemerkt worden dat indien er tijdens een bemaling een risico zou zijn op het aantrekken van een restverontreiniging, er bij het volgen van de bestaande wetgeving voldoende garanties zijn dat hierdoor geen aanzienlijk negatieve effecten te verwachten zijn.

Oppervlaktewater

Rechtstreekse en permanente ingrepen op waterlopen of oevers (zoals afgraven of aanleggen oevers/dijken, openleggen of overwelven van waterlopen, hermeandering/rechttrekking) zijn niet te verwachten door het aanleggen van bovengrondse hoogspanningsverbindingen. Op uitvoeringsniveau kan en zal immers vermeden kunnen worden dat masten worden voorzien ter hoogte van waterlopen of dat werfzones overlappen met waterlopen.

Bij bovengrondse hoogspanningsverbindingen beperkt de verharde oppervlakte zich tot de funderingszone van de (nieuwe) mast. Er kan gesteld worden dat deze beperkte bijkomende verharde oppervlakte verspreid over het volledige plangebied geen aanleiding zal geven tot een verhoogd **overstromingsrisico** zowel direct als indirect.

Een aantal corridors overlappen wel met een signaalgebied, wat betekent dat de aanleg van nieuwe masten in deze signaalgebieden niet kan uitgesloten worden, met een mogelijk effect op de overstromingsgevoeligheid en/of de vastgelegde doelstellingen voor deze zones. Daarom zal deze effectgroep toch verder onderzocht worden in de plan-MER.

Tijdens de bemalingsfase voor het aanleggen van de masten, is het niet uitgesloten dat het bemalingswater geloosd wordt in oppervlaktewater (rechtstreeks of via grachten). Hierdoor valt een wijziging van de **oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit** niet uit te sluiten (vb. door het lozen van verzilt of verontreinigd grondwater). Echter, dit betreft een tijdelijk en lokaal effect en op uitvoeringsniveau zijn er voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten voldoende te milderen (of te voorkomen), waardoor geen permanente negatieve effecten verwacht worden (vb. lozen van bemalingswater in oppervlaktewateren waar er genoeg debiet is om de aanwezige verhoogde concentraties en verzilting te verdunnen). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen. Er dient verder ook steeds voldaan te worden aan de sectorwetgeving.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat:

- Effecten op de **oppervlaktewaterhuishouding** nader dienen te worden onderzocht;
- Effecten op de **structuurkwaliteit** niet nader dienen te worden onderzocht;
- Effecten op de **oppervlaktewaterkwaliteit** niet nader dienen te worden onderzocht.

Afvalwater

Zowel in de aanleg- als exploitatiefase wordt geen afvalwater gegenereerd. Aspecten met betrekking tot **afvalwater** worden dan ook niet verder onderzocht in de plan-MER voor wat betreft de bovengrondse hoogspanningsverbindingen.

4.2.2 Nader te onderzoeken

Inzake bovengrondse hoogspanningsverbindingen worden voor de meeste effectgroepen geen aanzienlijke effecten verwacht op het watersysteem op planniveau. Er zijn effectieve maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau die bovendien standaard zullen uitgevoerd worden (zie bijlage 8 van de scopingnota), om mogelijke effecten tijdens de aanlegfase voldoende te milderen (of zelfs te voorkomen). De mogelijke effecten werden voor deze effectgroepen voldoende in beeld gebracht en

beoordeeld waar nodig. Er is voor deze effectgroepen geen nader onderzoek van de discipline water meer nodig in de plan-MER.

De effectgroep oppervlaktewaterhuishouding/overstromingsgevoeligheid zal wel verder onderzocht worden in de plan-MER, gezien een beperkt aantal van de te onderzoeken corridors voor een bovengrondse verbinding overlappen met een signaalgebied. Ook zullen mogelijke effecten op bestaande grondwaterwinningen voor drinkwater verder onderzocht worden.

4.2.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie, baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld (desktop informatie); de effecten worden beoordeeld op planniveau; er worden geen veldanalyses, detailinventarisaties of veldwerkzaamheden uitgevoerd.

4.2.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten inzake oppervlaktewaterhuishouding en grondwaterwinningen voor drinkwater zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Water. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, heeft dit geen relevante invloed op de beoordeling van deze effectgroepen. De mogelijke effecten zijn immers onafhankelijk van het (feitelijke of fictieve volgens de planologische bestemming) bodemgebruik.

Tabel 4-2: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Water

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Wijziging oppervlaktewater -kwantiteit en huishouding	Wijziging aanvoer waterloop ten gevolge van run-off Wijziging overstromingsregime	Wijziging ruimte voor overstromingswater.	Effect is significant negatief wanneer bergingsruimte (volume en oppervlakte) wordt ingenomen zonder oplossing en significant positief wanneer ruimte voor overstromingswater wordt gecreëerd.
Wijziging kwaliteit of kwantiteit van bestaande grondwaterwin-ningen voor drinkwater	Diepte van de vergraving	Afhankelijk van het type fundering die toegepast wordt voor het versterken van de masten	Effecten zijn mogelijks significant indien de grondwaterwinning kan beïnvloed worden (kwalitatief of kwantitatief)

4.3 Biodiversiteit

4.3.1 Eerste beoordeling

<u>Beschermde gebieden</u>

Er zijn meerdere gebieden van het Natura 2000-netwerk en/of VEN-gebieden gelegen ter hoogte van of in de nabije omgeving van de te onderzoeken corridors voor bovengrondse verbindingen.

Bijgevolg zal er een Passende Beoordeling en verscherpte natuurtoets opgemaakt worden om de mogelijke effecten ten aanzien van deze beschermde gebieden te bespreken.

De te onderzoeken corridors voor het aanleggen van een bovengrondse 380 kV verbinding overlappen op meerdere plaatsen met een Vlaams of erkend natuurreservaat. De mogelijk te herbenutten tracés horende bij het hoofdalternatief “Koksijde” overlappen in de omgeving van Diksmuide met een Ramsargebied. Er is geen overlap met beschermde gebieden volgens het Duinendecreet en er is ook geen overlap met een bosreservaat.

Biotoopverlies of -wijziging en verlies leefgebied

Het planvoornemen voorziet ter hoogte van de bovengrondse hoogspanningsverbindingen slechts in heel beperkte mate bodemverstoring/biotoopinname door verharding, bebouwing, verdichting en vergraving, met name enkel ter hoogte van de nieuwe masten. Op uitvoeringsniveau zijn, indien relevant, voldoende maatregelen beschikbaar om eventuele effecten te milderen (vb. masten of werfzones niet aanleggen ter hoogte van waardevolle poelen voor amfibieën). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen ((zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Ten gevolge van het aanleggen van de masten worden op planniveau bijgevolg geen significante/relevante effecten verwacht inzake **biotoopinname en inname van leefgebied**. Bij het aanbrengen van de draden zijn potentieel ook verdichtingseffecten (met bodemverstoring en biotoopwijziging tot gevolg) mogelijk tussen de masten. Echter, de machines die hiervoor gebruikt worden, zijn minder zwaar en ter hoogte van kwetsbare zones wordt gewerkt met rijplaten. Maatregelen kunnen en zullen op uitvoeringsniveau genomen worden. Bij het aanbrengen van de draden is het mogelijk dat het kruisen van bomenrijen, houtkanten, hagen,… niet kan vermeden worden en deze plaatselijk dienen gerooid te worden. Nadien kan deze vegetatie wel hersteld worden, waardoor er geen relevante permanente effecten op planniveau te verwachten zijn.

Echter, daar waar bossen of andere opgaande begroeiing overspannen wordt, dient een zone van 60m breed gevrijwaard te worden van grotere opgaande begroeiing. Binnen deze zone zal de opgaande begroeiing bijgevolg verwijderd worden. Afhankelijk van het omliggende landgebruik zal de vegetatie vervangen worden door vb. laagblijvende bomen, struiken, grasland,…. of zal de huidige vegetatie op welbepaalde tijd gesnoeid worden om de opgelegde maximale hoogte niet te overschrijden. Er zal zich bijgevolg daar waar de veiligheidszone overlapt met opgaande vegetatie een biotoopwijziging voordoen. Cfr. de standaardmaatregelen van het plan (zie bijlage 8 van de scopingnota) wordt er gestreefd naar de ontwikkeling van waardevolle en streekeigen biotopen.

In de verschillende hoofdalternatieven en varianten die onderzocht zullen worden, bevinden zich beboste percelen, waardoor een biotoopwijziging niet op voorhand kan uitgesloten worden. Deze effectgroep zal dus mee onderzocht worden in de plan-MER.

Een permanente biotoopwijziging van vegetatie buiten de werkzone en buiten de veiligheidszone wordt niet verwacht.

Door de aanleg van bovengrondse hoogspanningsverbindingen worden geen relevante of permanente **stikstofdeposities** verwacht, die zouden kunnen leiden tot een biotoopwijziging, of een verminderde staat van instandhouding. Enkel tijdens de aanlegfase zijn stikstofemissies mogelijk. De stikstofdeposities die hiermee gepaard gaan zullen heel beperkt zijn, zowel in tijd als in hoeveelheid. De bijdrage van dit planonderdeel ter hoogte van de habitatwaardige percelen in de nabije omgeving is dus zeer beperkt en herstelbaar. Daarnaast kan verwezen worden naar de dalende trend in NOx emissies. Deze is het gevolg van reeds beslist beleid en van technologische en maatschappelijke evoluties en zal zich nog doorzetten in de toekomst door recente beleidsbeslissingen van de Vlaamse Regering. Er kan dus verwacht worden dat de achtergrondconcentratie wat betreft NOx in de toekomst nog zal dalen, waardoor de eventuele heel beperkte (tot verwaarloosbare) negatieve effecten ten gevolge van het planvoornemen zich zal herstellen door een daling van de achtergrondconcentratie. De mogelijke effecten worden besluitend als niet betekenisvol beoordeeld. Ook cumulatief voor de verschillende planonderdelen samen, worden geen betekenisvol negatieve effecten verwacht, gezien de aanleg verspreid in de tijd en over een grote afstand zal gebeuren, waardoor de mogelijke gecumuleerde depositie ook verspreid, beperkt en herstelbaar zal zijn.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een bemaling zal nodig zijn voor het aanleggen van de masten. Een **bemaling** van meerdere weken kan een negatieve invloed hebben op kwetsbare vegetaties in de omgeving. Echter de eventuele bemalingen zijn beperkt, met name enkel ter hoogte van de locatie van de mast en op projectniveau zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om eventuele negatieve effecten voldoende te milderen (of zelfs te voorkomen). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken /

maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Er kan bijgevolg besloten worden dat daar waar opgaande vegetatie gekruist wordt, aspecten met betrekking tot biotoopinname, biotoopwijziging en inname van leefgebied verder onderzocht dienen te worden in de plan-MER.

Verstoring

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende **verlichting** niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase wordt voorlopig als worstcase verondersteld dat dag- en nachtbebakening bijna overal noodzakelijk zullen zijn. Voor vleermuizen worden hierdoor geen negatieve effecten inzake lichtverstoring verwacht. De intensiteit van de knipperlichten is namelijk te laag om verstorend te werken. Indien vleermuizen zouden aangetrokken worden door de bebakening, kunnen ze de bedrading voldoende ontwijken. Echter, sommige voorkomende soorten avifauna kunnen aangetrokken worden door deze lichtbebakening, waarbij er voor hen wel een verhoogd risico kan zijn op aanvaringsslachtoffers. De mogelijke effecten hiervan zullen verder onderzocht worden onder de effectgroep “draadslachtoffers”.

Tijdens de aanlegfase kunnen ook **geluidseffecten** optreden. Echter, deze zijn eveneens tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Mogelijke effecten kunnen beperkt worden door het nemen van passende maatregelen op uitvoeringsniveau (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens het broedseizoen,,…), waardoor geen permanente effecten verwacht worden. Deze maatregelen worden standaard toegepast, daar waar het noodzakelijk is (ter hoogte van kwetsbare gebieden) (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Hoewel er geen relevante geluidsemissies voor fauna verbonden zijn aan de exploitatie van een nieuwe bovengrondse hoogspanningslijn, is er in de exploitatiefase nog wel een tijdelijke rustverstoring mogelijk, met name op het moment van periodieke controles (per voertuig, helikopter of drone) of bij het uitvallen van de hoogspanningslijn door storingen. Tijdelijke rustverstoring is momenteel ook aanwezig op momenten dat normale landbouwactiviteiten aanwezig zijn. De bijkomende verstoring (tijdens de controle van de lijn) is vrij beperkt, maar het gebruik van een helikopter kan watervogels sneller doen opschrikken, met een verhoogd risico op aanvaring met de hoogspanningslijnen bij paniekreacties. De laatste jaren worden controles meer en meer per drone uitgevoerd, waardoor dit potentiële effect minder relevant wordt.

Indien er ook andere onderhoudswerken dienen te gebeuren (vb. vellen van hoogstammige bomen, onderhoud struikgewas,…) zal het verstoringseffect groter zijn. Er wordt echter verwacht dat dergelijke werkzaamheden slechts in beperkte mate noodzakelijk zullen zijn, waardoor het effect als zeer tijdelijk en niet aanzienlijk op planniveau wordt ingeschat. Deze effectgroep zal dan ook niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Everaert (2007) stelt dat verschillende studies hebben aangetoond dat dieren nog gevoeliger zijn voor **elektromagnetische velden** dan mensen. Vogels bijvoorbeeld hebben een aantal karakteristieken die hen geschikt maken als biologische indicator van elektromagnetische velden al vanaf een relatief lage intensiteit, zoals dunne schedel, veren die kunnen fungeren als diëlektrische receptoren van velden, het feit dat veel soorten magnetische navigatie gebruiken en dat psychosomatische effecten zijn uitgesloten (in tegenstelling tot bij de mens).

Diverse vogelsoorten navigeren met behulp van de aardmagnetische velden en kunnen gedesoriënteerd geraken wanneer ze worden blootgesteld aan zwakke magnetische velden (Fernie & Reynolds, 2005; Everaert, 2007). Studies hebben ook aangewezen dat de blootstelling aan elektromagnetische velden doorgaans veranderingen veroorzaakt in het gedrag, broedsucces, groei, ontwikkeling, fysiologie, endocrinologie en oxidatieve stress van vogels. De richting van de gedragswijziging (positieve impact versus negatieve impact) is echter niet steeds dezelfde in de verschillende literatuurbronnen. Momenteel bestaat nog een kennislacune wat betreft het effect van elektromagnetische velden van laag frequente velden van hoogspanningslijnen op vogels en dieren in het algemeen (er zijn slechts weinig studies bekend die specifiek de effecten op vogels onderzoeken, Fernie & Reynolds, 2005).

Uit een recente literatuurstudie van mei 2023[17] waarin meer dan 250 bestaande wetenschappelijke studies over dit thema werden geïnventariseerd en geïnterpreteerd, blijkt dat verschillende species in staat zijn om magnetische velden en veranderingen van magnetische velden aan te voelen (magnetoreceptie). Er is echter voor de meeste van de bestudeerde eigenschappen geen consensus te vinden of antropogene straling met een frequentie van 50 Hz (of 60 Hz), zoals deze afkomstig van hoogspanningslijnen, al dan niet gevolgen heeft voor de gezondheid.

Dit potentiële effect kan bijgevolg bij gebrek aan wetenschappelijke kennis niet verder gedetailleerd worden en dient als een leemte in de kennis beschouwd te worden. Het onderscheid tussen de rustverstoring t.g.v. de aanwezigheid van een hoogspanningslijn op zich en de mogelijke effecten van elektromagnetische velden is op heden niet te maken. Beide verstoringsaspecten kunnen wel gebundeld beoordeeld worden.

Connectiviteit en migratie

Het oprichten van een hoogspanningslijn voorziet in het plaatsen van masten waardoor er op grondniveau mogelijk een effect kan optreden dat versnipperend werkt voor bodemgebonden fauna. De tussenafstand tussen de masten is evenwel zeer groot, ca. 350 à 400 m, en de ruimte-inname door de mastvoeten is minimaal waardoor dit slechts weinig tot geen effecten zal veroorzaken. Het versnipperende effect voor grondgebonden fauna ten gevolge van de masten is dan ook zeer beperkt en wordt als niet significant beoordeeld.

Er zijn heel wat vogelsoorten van open gebied die opgaande elementen gaan vermijden. Een hoogspanningslijn kan voor broedvogels een verstorend element vormen tot ca. 100 m langs weerszijden van de hoogspanningslijn. Voor pleisterende en overwinterende watervogels/ ganzen/ weidevogels kan dit oplopen en zijn grotere verstoringsafstanden mogelijk (bvb. voor ganzen tot 400 m). De aanwezigheid van een bovengrondse hoogspanningslijn kan bijgevolg voor een **versnippering** van het leefgebied zorgen. Onrechtstreeks veroorzaakt dit ook een verlaging van de kwaliteit van het leefgebied van deze soorten, gezien bepaalde zones minder gebruikt kunnen/zullen worden omwille van de aanwezigheid van de hoogspanningslijn.

Er worden geen significante effecten verwacht ten gevolge van de veiligheidszone. Daar waar lijnvormige opgaande vegetatie gelegen is binnen deze zone, zullen lager blijvende (knot)bomen of hogere struiken heraangeplant worden cfr de standaardmaatregelen van het plan (zie bijlage 8 van de scopingnota), waardoor bestaande migratieroutes niet significant verstoord worden.

Vogels die sterven als gevolg van een botsing met een hoogspanningsverbinding, worden **draadslachtoffers** genoemd. Vogels worden gedood door de fysieke aanvaring met de draden, voornamelijk de waakdraden omdat deze het dunste en dus minst zichtbaar zijn. Elektrocutie van vogels doet zich niet voor bij de types van hoogspanningslijn die voor het Ventilus-project gebruikt zullen worden.

De Vlas & Butter (2003) geven als referentiewaarde een gemiddelde van 310 draadslachtoffers per kilometer per jaar in Nederland. Op locaties met grote vogeldichtheden kunnen de aantallen draadslachtoffers echter oplopen tot meer dan 500 per kilometer hoogspanningslijn per jaar (Haas et al., 2003). Uit een recent rapport van Natuurpunt blijkt dat in België elk jaar 170.000 tot 500.000 draadslachtoffers zouden zijn en er een netwerk van bovengrondse verbindingen is van 5.500 km, wat bijgevolg neerkomt op ca. 31 tot 91 slachtoffers per kilometer per jaar.

Passages vinden plaats tijdens de seizoenstrek of bij lokale verplaatsingen zoals voedseltrek en slaaptrek van broedvogels of overwinteraars. Ter hoogte van de te onderzoeken hoofdalternatieven en varianten zijn meerdere trekroutes gelegen, waardoor het risico op draadslachtoffers reëel is. Bijgevolg zal dit verder onderzocht worden in de plan-MER. Hiervoor zal o.a. gebruik gemaakt worden van de risico-atlas hoogspanningsverbindingen (opgemaakt door Natagora in opdracht van Elia).

[17] Latré J. Landschoot S., Claeys V. & Haesaert, G. (2023). *De invloed van magnetische velden afkomstig van elektriciteitstransport op fauna en flora. Studie in opdracht van het Departement Omgeving.*

4.3.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen nader onderzocht worden :

- Mogelijke effecten op beschermde gebieden
- Biotoopverlies / verlies aan leefgebied voor fauna daar waar opgaande vegetatie definitief dient te verdwijnen
- Visuele verstoring - versnippering
- Draadslachtoffers

4.3.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor de beschrijving van de referentiesituatie voor de discipline biodiversiteit zal er onder andere gebruik gemaakt worden van:

- Biologische waarderingskaart;
- Afbakening Speciale Beschermingszones en hun instandhoudingsdoelstellingen;
- Diverse losse waarnemingen avifauna
- Risico-atlas vogels-windturbines INBO;
- Info uit de studie van Natuurpunt, Natagora, Vogelbescherming Vlaanderen en het INBO in verband met draadslachtoffers ter hoogte van hoogspanningslijnen;
- Gegevens van lokale natuurverenigingen indien beschikbaar.

Er wordt algemeen geen gedetailleerd veldonderzoek of veldinventarisaties nodig geacht. Een algemeen terreinbezoek is wel voorzien.

4.3.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

Aangezien de effecten op flora en fauna in hoofdzaak betrekking hebben op mogelijke hinder bij de vliegroutes van avifauna, zal, voor zover mogelijk, nagegaan worden wat de mogelijke aanvaringskansen zijn van deze avifauna met de hoogspanningslijn en de pylonen. Hierbij zullen de bestaande gegevens van belangrijke pleistergebieden, broedgebieden en migratiebewegingen in verband worden gebracht met de kans op aanvaring.

De bespreking inzake ecotoopverlies zal hoofdzakelijk kwalitatief gebeuren op basis van de BWK versie 2 en een verkennend terreinbezoek ter hoogte van de meest waardevolle zones.

Met betrekking tot het aspect visuele verstoring / barrièrewerking wordt nagegaan waar de aanwezigheid van een nieuwe hoogspanningsverbinding kan zorgen voor een verstoring van het leefgebied van soorten. Daarnaast kan ook het verdwijnen van lineaire elementen een invloed hebben op migratieroutes (van vb. vleermuizen). De veiligheidszone kan ter hoogte van bosvegetatie een versnipperend effect hebben.

De mogelijke effecten worden in eerste instantie beoordeeld ten aanzien van de huidige natuurwaarden en dus de feitelijke referentiesituatie. Daar waar kan verwacht worden dat de natuurwaarden in de toekomst zullen stijgen (vb. thv percelen welke zijn opgenomen in een natuurbeheerplan), wordt eveneens met deze toekomstige referentiesituatie rekening gehouden. Gezien geen hoge opgaande begroeiing wordt toegelaten binnen de veiligheidszone, is het ook relevant na te gaan of er zones gekruist worden met een bestemming “bosgebied” en waar momenteel nog geen bos aanwezig is.

Tabel 4-3: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Biodiversiteit

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Biotoopverlies / winst – verlies aan leefgebied	Grootteorde aan oppervlakte waardevol gebied met opgaande vegetatie (voor fauna en/of flora) dat zal verdwijnen Verlies/winst vegetatie door inname	GIS-analyse, terreinbezoek oppervlakte waardevolle biotooptypes die mogelijk rechtstreeks dreigen aangetast te worden tengevolge van de invulling van het plan. Op planniveau is het hoofdzakelijk relevant om kwetsbaarheden inzake biotoopwijziging op te merken en hierover indien mogelijk GRUP-verfijningen voor op te stellen	Effecten zijn significant wanneer waardevolle biotopen verloren gaan of gecreëerd worden. Volgens BWK: • biologisch zeer waardevol, biologische waardevol, complex van waardevolle en zeer waardevolle elementen = zeer kwetsbaar • Complex van minder waardevolle en waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en zeer waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en waardevolle tot zeer waardevolle elementen = matig kwetsbaar • biologisch minder waardevol = weinig kwetsbaar De significantie wordt dan verder gespecificeerd a.d.h.v. de potentiële omvang van het effect in relatie tot de omgeving, de context en de plaats. Uiteindelijke beoordeling gebeurt op basis van expert judgement.
Versnippering en barrière-effecten	Aanduiding zones die gevoelig zijn voor versnippering en barrière-effecten.	Bespreking o.b.v. expert judgement waarbij voor broedvogels een verstoringsafstand van ca. 100m wordt gehanteerd en voor pleisterende en overwinterende vogels een verstoringsafstand van max. 400m.	Effecten kunnen significant zijn wanneer de versnippering/ ontsnippering de verspreiding van soorten beïnvloedt. Effecten zijn ook significant wanneer het aandeel kernhabitat in belangrijke mate afneemt ten aanzien van het aandeel randhabitat.
Effecten op soortniveau: aanvaring	Kwetsbare/ Schaarse soorten die in aanvaring komen kunnen al snel leiden tot een effect op populatieniveau. Aanduiding van de risicozones voor aanvaring in/nabij het plangebied.	Bespreking van de aanwezigheid en indicaties o.a. o.b.v. de risicokaart hoogspannings-verbindingen	Kwalitatieve bespreking soortspecifieke effecten met nadruk op preventieve maatregelen Een kwantitatieve benadering wordt meegegeven indien mogelijk, doch is veelal niet soortspecifiek te maken; gelet op de beperkte wetenschappelijke kennis omtrent het onderwerp.

Daar ten gevolge de realisatie van een bovengrondse hoogspanningsverbinding een beïnvloeding van kwetsbare en beschermde gebieden of de hier voorkomende soorten niet op voorhand uit te sluiten valt, zal een **Passende Beoordeling en verscherpte Natuurtoets** opgemaakt worden.

De mogelijke effecten van de hoogspanningslijn zullen afgewogen worden aan de beheervoorschriften van 'NATURA 2000-gebieden' en aan de bepalingen van artikel 36ter van het Vlaamse Natuurdecreet. Volgende stappen worden hierbij doorlopen:

- Er zal worden gestart met een **uiteenzetting** van de verschillende **natuurwaarden**. Dit moet leiden tot een algemene beschrijving van de natuurwaarden ter hoogte van de bovengrondse tracés en onmiddellijke omgeving. Hier wordt aangehaald waar bepaalde opvallende waarden, knelpunten en potenties op vlak van vegetatie en fauna werden vastgesteld en wordt ook de historiek van het geheel in grote lijnen toegelicht.
- Nadien worden de verschillende **soorten** en **habitats** aangehaald die in en in de nabijheid van het studiegebied reeds werden vastgesteld en momenteel nog kunnen worden waargenomen, én dewelke opgenomen zijn binnen de richtlijnbijlagen met de verschillende beschermde soorten. Er wordt kortom in detail nagegaan of deze habitats en soorten werden vastgesteld binnen de invloedssfeer van de voorgenomen activiteit.
- In een volgende fase wordt kort nagegaan of het plan **enig verband** houdt met het beheer van het gebied met het oog op natuurbehoud.
- Vervolgens wordt nagegaan of het planvoornemen **betekenisvolle (negatieve) gevolgen** kan hebben voor de voorkomende en tot doel gestelde habitats en soorten. Er zal met andere woorden een aftoetsing gebeuren ten aanzien van de goedgekeurde instandhoudingsdoelen.

Wanneer VEN-gebieden een eventuele invloed van werkzaamheden kunnen hebben, dient een verscherpte natuurtoets opgesteld te worden in kader van de vergunningsaanvraag. Volgende 4 essentiële vragen worden hieromtrent op projectniveau behandeld:

- Zijn er veranderingen aan de natuurwaarden ?
- Zijn de veranderingen voor de natuur nadelig ?
- Zijn deze veranderingen vermijdbaar ?
- Zijn deze veranderingen herstelbaar ?

Op planniveau zullen de mogelijke effecten ten aanzien van de voorkomende VEN-gebieden ook reeds in beeld gebracht worden.

4.4 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

4.4.1 Eerste beoordeling

Erfgoedwaarde

De aanwezigheid van een nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbinding en de nieuwe masten na uitvoering van het planvoornemen kan een negatief effect hebben op voorkomende landschapsatlasrelicten, beschermde landschappen en beschermde monumenten of stads- of dorpsgezichten in de omgeving. Ook het bouwkundig erfgoed kan een negatief effect ondervinden van de aanwezigheid van de bovengrondse hoogspanningsverbindingen. Daarom wordt geoordeeld dat de effecten op erfgoedwaarden verder onderzocht dienen te worden in de plan-MER.

Archeologisch erfgoed

De ondergrond binnen het plangebied kan beschouwd worden als bodemarchief, waar voorzichtig mee moet omgesprongen worden in functie van de potentieel archeologische waarden. Als gevolg van het planvoornemen komen ingrepen voor die potentieel kans hebben om archeologische waarden te verstoren of vernietigen, zoals de werkzaamheden die gepaard gaan met ingrepen in de bodem (graafwerkzaamheden), in hoofdzaak relevant ter hoogte van de toekomstige nieuwe masten. Er is

dan ook een (beperkte) potentiële invloed te verwachten op (reeds gekend / niet gekend) archeologisch erfgoed. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan enkel met verder onderzoek worden vastgesteld. Permanente veranderingen in de grondwatertafel zouden ook een nadelig effect kunnen hebben, maar worden tengevolge van het planvoornemen evenwel niet verwacht.

Er zijn ter hoogte van de te onderzoeken corridors voor het aanleggen van bovengrondse 380 kV-verbindingen geen 'archeologische sites' beschermd of 'archeologische zones' gelegen. Zeer lokaal worden er ter hoogte van de mogelijke tracés voor bovengrondse 380 kV-verbindingen zones aangeduid als "gebieden waar geen archeologie te verwachten valt". Op basis van de bodemkaart kunnen ook een aantal belangrijke archeologische aandachtszones gelokaliseerd worden, waaronder de plaggenbodems (profielontwikkeling 'm'). Deze komen slecht in heel beperkte mate voor. Andere archeologisch interessante zones komen voor ter hoogte van podzolbodems (profielontwikkeling 'g'), natte en zeer natte gronden, vennen, veengronden en historische kernen. Podzolbodems zijn vooral interessant als ze bv. gelegen zijn onder bos of weiland, of waar de bodems niet of slechts oppervlakkig verstoord zijn in het verleden. Echter ook deze zones komen slechts beperkt voor binnen de te onderzoeken corridors voor het aanleggen van bovengrondse 380 kV-verbindingen. Enkel langs de E40 zijn wel meerdere zones gelegen waar podzolbodems gelegen zijn er hoogte van huidig beboste percelen.

Het planvoornemen voorziet voor de bovengrondse hoogspanningsverbindingen slechts beperkt in de mogelijkheid tot vergraving, met name enkel ter hoogte van de toekomstige nieuwe masten (en beperkt en ondiep mogelijks ook ter hoogte van werkzones of aanvoerroutes, echter meestal wordt er hiervoor gebruik gemaakt van rijplaten waarbij geen vergravingen noodzakelijk zijn). Daar waar bestaande lijnen kunnen herbenut worden en de mast op dezelfde plaats van de huidige mast komt, kan verondersteld worden dat de bodem reeds in het verleden vergraven is geweest. Enkel bij de aanleg van nieuwe masten bestaat bijgevolg een potentiële en beperkte kans op het verstoren van archeologische waarden. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan echter enkel met verder onderzoek worden vastgesteld. Gezien de mastlocaties op planniveau niet gekend zijn en de grote tussenafstanden van de masten, kan hier bijgevolg op planniveau geen gedetailleerde uitspraak over gedaan worden. Op uitvoeringsniveau wordt een archeologienota opgemaakt. Indien dit onderzoek aantoont dat er belangrijke archeologische waarden aanwezig zijn, zullen op uitvoeringsniveau de maatregelen uit de archeologienota uitgevoerd worden (vb. beperkt verplaatsen van de mastlocatie of opgravingen).

Sinds 1 juni 2016 is via besluit het luik archeologie van het Onroerend erfgoeddecreet van kracht. Volgens de regelgeving ligt het initiatief bij de ontwikkelaar/bouwheer voor de opmaak van een bij de vergunningsaanvraag toe te voegen archeologienota.

Bij verplicht archeologisch onderzoek dient er bij de stedenbouwkundige of verkavelingsvergunning een bekrachtigde archeologienota te zitten. Criteria en drempels voor deze verplichting zijn afhankelijk van ondermeer de oppervlakte van de ingreep, de ruimtelijke bestemming, de ligging binnen of buiten vastgestelde archeologische zones of beschermde archeologische site, de aard van de vergunning, de aard van de aanvrager.

Daarnaast is ook de vondstmeldingsplicht van toepassing. Iedereen die, op een ander moment dan bij het uitvoeren van een archeologisch vooronderzoek, een archeologische opgraving of het gebruik van een metaaldetector, een roerend of onroerend goed vindt waarvan hij weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat het archeologische erfgoedwaarde heeft, is verplicht daarvan binnen drie dagen aangifte te doen bij het agentschap Onroerend Erfgoed. De Vlaamse Regering kan de nadere regels daarvoor bepalen.

- Gezien de oppervlakte die vergraven wordt bij een bovengrondse hoogspanningsverbinding zeer beperkt is, kan besloten worden dat de kans op mogelijke verstoring van archeologische erfgoed zeer klein is en bijgevolg niet nader onderzocht moet worden in de plan-MER.

<u>Visuele kwaliteit en landschapsstructuur</u>

Na uitvoering van het planvoornemen zal er een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding aanwezig zijn in het landschap (voorlopige worst-case is dat dag- en nachtbebakening bijna overal noodzakelijk zal zijn). Deze zal het best zichtbaar zijn bij mooi en zonnig weer. Deze weersituatie wordt dan ook als worst-case beschouwd voor deze effectgroep bij de plan-MER.

Gezien de te onderzoeken corridors voor een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding hoofdzakelijk in de open ruimte gelegen zijn, al dan niet gebundeld met bestaande infrastructuren, wordt een landschappelijke impact verwacht. Er kunnen zowel visuele effecten als effecten op de landschapsstructuur optreden. In het planvoornemen is een landschappelijke integratie voorzien door de opmaak van een landschapsvisie waarbij vb. kan aanbevolen worden om op strategische plaatsen bomen aan te planten. Mogelijke effecten zullen nader onderzocht worden in de verdere plan-MER.

Bij de aanduiding van de hoogspanningsverbinding in het GRUP hoort ook een veiligheidszone cfr. AREI. Daar waar bossen of andere opgaande begroeiing overspannen wordt, dient een zone van ca. 60 m breed gevrijwaard te worden van grotere opgaande begroeiing. Binnen deze zone zal de opgaande begroeiing bijgevolg verwijderd worden. Afhankelijk van het omliggende landgebruik zal de vegetatie vervangen worden door vb. laagblijvende bomen, struiken, grasland,…. of zal de huidige vegetatie op welbepaalde tijdstippen gesnoeid worden. Dit kan een invloed hebben op de visuele kwaliteit van het plangebied en de landschapsstructuur. Deze effectgroepen zullen bijgevolg verder onderzocht worden in de plan-MER.

4.4.2 Nader te onderzoeken

In de plan-MER zullen volgende effectgroepen verder onderzocht worden:

- Effecten op erfgoedwaarden;
- Visuele kwaliteit en landschapsstructuur.

4.4.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld.

Waardevolle informatie ter afbakening van de referentiesituatie voor de discipline zal worden gehaald uit het geoportaal Onroerend Erfgoed (https://geo.onroerenderfgoed.be), uit de lijst van beschermde monumenten, landschappen, stads- en dorpsgezichten, de landschapskenmerkenkaart, de inventarissen onroerend erfgoed, de fysisch systeemkenmerkenkaart, …

Tevens zal door de MER-deskundige een terreinverkenning uitgevoerd worden in de kwetsbare zones waarbij de opmerkelijke landschapsvormende factoren en de huidige positieve en negatieve beelddragers in het studiegebied op macroniveau zullen worden beschreven. Waar relevant geacht, zal (op grotere schaal) gebruik gemaakt worden van zowel historisch als actueel kaartmateriaal en orthofoto's om de historiek van het studiegebied op macroniveau na te gaan. Dit kan van belang zijn bij het uitwerken van het finaal gekozen alternatief en de voorstellen van milderende maatregelen die het (oorspronkelijk) landschap kunnen versterken of herstellen.

Ten slotte zal er gekeken worden of er relevante info kan overgenomen worden uit de opgemaakte landschapsstudie.

4.4.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie. In stap 1 van het onderzoek wordt het niet nodig geacht een onderscheid te maken tussen de feitelijke en juridische referentietoestand. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, zal de feitelijke toestand nagenoeg altijd de meest kwetsbare zijn. Als er een verschil is, heeft dit namelijk meestal te maken met nog niet ingevulde/ontwikkelde gebieden. In de juridische referentietoestand zal in die gevallen zowel het landschapsbeeld als de contextwaarde van de voorkomende erfgoedwaarden bijgevolg meer verstoord zijn. De beoordeling ten opzichte van de feitelijke referentietoestand kan dan bijgevolg als een worst-case aanzien worden. Mochten er zones zijn waar de juridische toestand de meest

kwetsbare is, zal dit geen effect hebben op de conclusies van de kwetsbaarheidsanalyse (er bestaat namelijk geen risico dat bepaalde corridors/varianten/alternatieven op basis van de kwetsbaarheden ten opzichte van de feitelijke referentietoestand als niet weerhouden zouden beoordeeld worden).

In stap 2 zal wel nagegaan worden of er ook zones zouden zijn waar de juridische toestand kwetsbaarder zou zijn in vergelijking met de feitelijke referentietoestand (vb. nog niet ingevulde bos- of parkgebieden). Daar waar er geen relevant verschil is, of daar waar de feitelijke referentiesituatie als meest waardevol kan beschouwd worden, zal enkel een beoordeling gemaakt ten opzichte van de feitelijke referentiesituatie (gezien deze dan als een worst-case kan beschouwd worden).

De ingrepen, die de landschappelijke situatie veranderen, bestaan in essentie uit het toevoegen van nieuwe elementen en het wijzigen of verwijderen van bestaande elementen. Het wijzigen van elementen wordt onderverdeeld in wijzigingen met betrekking tot de toestand en functie enerzijds en het voorkomen of uitzicht anderzijds.

De verschillende mogelijke effecten worden gegroepeerd volgens de verschillende invalshoeken van de discipline (**cultuurhistorie**, **landschapsstructuur** en **landschapsbeeld**).

In hoofdzaak wordt hier uitgegaan van de perceptuele kenmerken omdat deze objectief kunnen beschreven worden. Belevingskwaliteiten hangen immers nauw samen met een waardering en interpretatie van de situatie en deze kunnen sterk verschillen afhankelijk van de invalshoek waaruit en hoe men een gebied bekijkt.

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom enerzijds steunen op objectieve criteriawaarden en anderzijds steunen op onderzoek met betrekking tot de invloed op omgevingsfactoren, perceptie en gedrag.

De te verwachten effecten op de intrinsieke waarde van het landschap, zowel binnen als buiten het onderzoeksgebied, als gevolg van de aanwezigheid van de ontwikkeling wordt onderzocht. Hieruit zal blijken of de voorziene aanleg al dan niet verenigbaar is met de landschappelijke waarde van het gebied.

Tabel 4-4: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Effectgroep	Criterium	Methodologie
Impact op de landschapsstructuur	Wijziging huidige landschapsstructuur	Huidige landschapsstructuur toetsen aan ruimtelijke invulling projectgebied Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling
Aantasting erfgoedwaarden	Verlies of verstoring van bouwkundig erfgoed Verlies of verstoring van relicten	Kwetsbare gebieden voor aantasting erfgoedwaarden toetsen aan ruimtelijke invulling projectgebied Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling
Impact op perceptieve kenmerken /landschapsbeeld	Wijziging visueel-ruimtelijke kenmerken / landschapsbeeld / vista's / architecturale kwaliteit	Huidige landschapsbeeld toetsen aan ruimtelijke invulling projectgebied Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling

Het aspect "belevingswaarde" wordt behandeld bij de discipline Mens – ruimtelijke aspecten.

4.5 Lucht

4.5.1 Eerste beoordeling

Door de aanleg van (bovengrondse) hoogspanningsverbindingen zijn geen bijkomende **geleidende emissies of geuremissies** te verwachten. Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen.

Met betrekking tot **klimaataspecten** worden evenmin aanzienlijk negatieve effecten verwacht gezien de bijkomende emissies in de exploitatiefase verwaarloosbaar zijn. Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat bijkomende duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk is.. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen en dus voor een daling van verontreinigende emissies.

4.5.2 Nader te onderzoeken

Inzake bovengrondse hoogspanningsverbindingen worden geen permanente effecten verwacht wat betreft de discipline lucht op planniveau. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet rechtstreeks leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline lucht meer nodig in de plan-MER.

4.6 Geluid

4.6.1 Eerste beoordeling

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te beperken of te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode, werken buiten broedseizoen,…), waardoor geen permanente effecten worden verwacht tijdens de aanlegfase. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding kan in beperkte mate als geluidsbron optreden in de **exploitatiefase**. Het grootste risico op geluidsemissies bestaat bij vochtig weer. Deze weersituatie wordt dan ook als worst-case beschouwd voor onderstaande beoordeling. Bij droog weer zijn geen relevante geluidsemissies te verwachten.

Rondom geleiders van een 380 kV-hoogspanningsverbinding is sprake van een elektrisch en een magnetisch veld. Het magnetisch veld geeft geen geluid maar bij een elektrisch veld is dat anders. Hoe hoger de spanning op de geleiders van de hoogspanningsverbinding, des te hoger is het elektrische veld rondom de componenten en de geleiders. Door deze hoge veldsterkte kan de omringende lucht geïoniseerd worden. Als gevolg van deze ionisatie kunnen elektrische ontladingen plaatsvinden. Deze ontladingen gaan gepaard met een zoemend (en soms knetterend) geluid. Dit verschijnsel wordt corona genoemd. Er zijn condities denkbaar waaronder de intensiteit en daarmee hoorbaarheid van corona toeneemt. Wanneer er zich tijdens regen, mist of andere omstandigheden druppels op of onderaan een geleider bevinden, dan kunnen deze druppels door hun vorm het elektrische veld lokaal laten toenemen. Daarnaast kan, ongeacht de weersomstandigheden, coronageluid plaatselijk optreden ter hoogte van de isolatoren (isolatorkettingen) aan de hoogspanningsmasten. Coronageluid

kan hier ontstaan wanneer de isolator(ketting) onregelmatigheden vertoont (beschadigde leidingen) of vervuild is geraakt en het elektrische veld daardoor plaatselijk onregelmatig is verdeeld. Dit komt onder andere voor in kustgebieden, waar de isolatoren vervuild en/of aangetast kunnen worden door zeezout. Vaak maken nieuwe geleiders tijdelijk meer geluid. Dat komt doordat er op nieuwe geleiders (waterafstotend) vet aanwezig is. Hierdoor zullen bij nieuwe geleiders de waterdruppels door de waterafstotende eigenschappen parelvormig zijn, terwijl bij oudere geleiders de druppels door de geleider langs de afzonderlijke draden zullen wegvloeien. Na verloop van tijd is dit vet verdwenen en mag verwacht worden dat de geluidsproductie bij droge omstandigheden (nagenoeg) niet hoorbaar zal zijn en onder vochtige omstandigheden (bij regen en mist) behoorlijk zal zijn afgenomen. Hierbij moet gedacht worden aan een periode van 1 tot 2 jaar.

Corona is dus het geleidend worden (doorslaan) van lucht door ionisatie onder invloed van een hoge elektrische veldsterkte, zonder dat een compleet ontladingspad ontstaat. Om de geleider heen ontstaan kleine kanaaltjes met geïoniseerd gas -vaak lucht-, waarin de positieve en negatieve ladingdragers ten opzichte van elkaar verschuiven, en zo het veld van energie ontdoen. Deze micro-elektrostatische ontladingen -vonkjes- zijn soms hoorbaar als gekraak of geknetter. De hoogste veldsterktes treden op waar de geleiders een kleine kromtestraal hebben zoals bij:

- Oudere geleiders met ronde draden;
- Afzetting van luchtvervuiling op de geleiders;
- Het vormen van druppels op de geleiders bij mist of regenweer.

Geluid van hoogspanningslijnen wordt dus veroorzaakt door elektrische ontladingen die het resultaat zijn van:

- De fasegeleiders, als gevolg van corona ontladingen. De mate van corona activiteit (en dus de geluidsproductie) wordt bepaald op basis van de configuratie van de fase- en bliksemdraadgeleiders in de hoogspanningslijn en de weersomstandigheden,
- De isolatoren, als gevolg van ontladingen langs het oppervlak. De intensiteit van de ontladingen is afhankelijk van de vervuilingsgraad (bijvoorbeeld hoeveelheid neergeslagen zout in kustregio's). De bevestiging van de isolatoren en bijhorende componenten kunnen de geluidsproductie verhogen wanneer ze onjuist bevestigd of toegepast worden. Er wordt echter telkens een thermovisie voorzien op de nieuwe lijnen om zoiets te detecteren. Er treedt enkel geluidsproductie op bij vervuilde isolatoren tijdens natte omstandigheden of bij een relatieve luchtvochtigheid hoger dan 75% waardoor het isolatieoppervlak nat genoeg wordt voor het geleiden van stroom langs het oppervlak.

Het Corona-effect wordt bepaald door:

- voltage van de hoogspanningsverbinding: de nieuwe hoogspanningsverbinding is steeds 380 kV;
- type mast;
- type geleider: klassieke 4- bundelgeleider (= 4x707AMS-2Z) en de hoge performantie HP 2-bundelgeleider (= 2xHTLS900).

Voor het evalueren van de geluidsproductie van hoogspanningsverbindingen zijn enkele betrouwbare methodes beschikbaar. Vanwege de statistische aard van het fenomeen is het een semi-empirische methode, gebaseerd op experimentele informatie die is verkregen uit een grote hoeveelheid onderzoeken verricht met testopstellingen en bestaande hoogspanningslijnen. De bekendste methode is de EPRI-methode (EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200kV and Above, Third Edition EPRI Palo Alto CA: 2005 1011974).

De corona-geluidseffecten worden berekend met behulp van het programma LICHEL. De methodiek van het programma LICHEL is op de CIGRE formule gebaseerd.

Daarvoor wordt eerst het maximaal E veld gradiënt (Emaxi) aan de oppervlakte van geleider (i) berekend. Voor een bundel van geleiders vindt men dan:

NPi = 3,5 Emaxi + 1200 ri - 30 - 33 log (Di/20)

Hierbij is:

- NPi: het radio storingsniveau (in dBµV/m) van een bundel,
- ri: de straal van een geleider (in m),
- Di: de afstand van de bundel waar de berekening gedaan wordt (in België: 20m).

Op het niveau van een plan-MER voor de afbakening van een hoogspanningslijn zijn de uitvoeringsdetails van de hoogspanningslijn op projectniveau nog niet (volledig) uitgewerkt (vb. type mast, type geleider), waardoor er geen specifieke berekeningen kunnen gebeuren op planniveau. Er kan wel (indicatief) verwezen worden naar de project-MER "380 kV Hoogspanningsverbinding Zomergem – Zeebrugge", waar ook nieuwe 380 kV hoogspanningslijnen waren voorzien en waar (op projectniveau) berekeningen werden uitgevoerd. De maximale waarden die, volgens deze berekeningen, voor een 380 kV lijn behaald (bij slecht weer) zouden kunnen worden, liggen in de orde van 43,2 dB(A) voor een klassieke vakwerkmast en 45,4 dB(A) voor een vakwerkmast met isolerende armen, hetgeen ruim onder de norm van 53 dB(A)[18] ligt. Ook bij het gebruik van een hoge performantiegeleider wordt de norm nog bij beide type masten gehaald. Er is quasi geen verschil in corona-effect tussen vakwerkmast met isolerende mastarmen en een wintrackmast[19].

Ter hoogte van het tracé tussen Brugge-west (Waggelwater) en Zedelgem, zijn de masten van de bestaande 150 kV-lijn sterk genoeg, zodat de 380 kV-geleiders op dezelfde masten kunnen aangebracht worden, zonder de 150 kV-verbinding ondergronds te brengen. Hier kunnen dus cumulatieve effecten verwacht worden. Ook een gelijkaardig scenario is doorgerekend in het project-MER "380 kV Hoogspanningsverbinding Zomergem – Zeebrugge". Als worst case werd daar de cumulatieve geluidsbijdrage berekend van een 380 kV lijn met hoge performantiegeleider op compacte masten (= 51,8 dB(A) samen met de geluidsbijdrage van een 150 kV lijn (=36,9 dB(A). De logaritmische som van 51,8 dB(A) en 36,9 dB(A) = 51,9 dB(A). Hieruit kan er besloten worden dat in worst case situatie het verschil tussen de geluidsbijdrage van de 380 kV lijn en de cumulatieve geluidsbijdrage (380 kV en 150 kV op minimale afstand) kleiner is dan 1 dB(A) en dus niet relevant is en dat de norm van 53 dB(A) nog steeds niet overschreden wordt.

Op basis van bovenstaande wordt dan ook besloten dat de discipline geluid niet verder onderzocht zal worden in de plan-MER.

4.6.2 Nader te onderzoeken

Gezien er voldoende in beeld gebracht werd dat er geen aanzienlijk negatieve effecten te verwachten zijn, zal deze discipline niet verder uitgewerkt worden. De mogelijke verstoring ten aanzien van fauna en mens zullen (kwalitatief) besproken worden in de disciplines Biodiversiteit (effectgroep verstoring) en Mens-gezondheid.

4.7 Mens – ruimtelijke aspecten

4.7.1 Eerste beoordeling

<u>Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit</u>

[18] Volgens de Belgische norm NBN EN50341-3 mag het hoorbare geluid van een bovengrondse hoogspanningsverbinding van meer dan 45 kV op een afstand van 20m tot de dichtstbijzijnde geleider niet hoger zijn dan 53 dB(A) bij slecht weer en 40 dB(A) bij mooi weer in residentiële bebouwde wijken.

[19] Voor wintrack-masten is het geluidsniveau door KEMA berekend bij 420 kV en voor natte weersomstandigheden tussen 41,3 en 42,9 dB(A) op 37 m van de as van de hoogspanningslijn (KEMA Nederland bv, 2010. Geluidsproductie van het Wintrackontwerp. In opdracht van TenneT).

Daar waar bestaande hoogspanningslijnen kunnen herbenut of versterkt worden, worden geen aanzienlijke permanente effecten inzake ruimtegebruik verwacht.

Bij nieuwe hoogspanningslijnen beperken de mogelijke effecten van rechtstreekse ruimte-inname zich hoofdzakelijk tot de oppervlakte van de nieuwe masten[20]. Voor de landbouwfunctie kunnen er bijkomend nog hinderaspecten zijn, gezien er bijvoorbeeld bij het bewerken van de akkerpercelen of bij het oprichten en gebruik van landbouwinfrastructuur dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van de masten en geleiders.

Bij de aanduiding van de hoogspanningsverbinding in het GRUP hoort ook een veiligheidszone cfr. AREI. Binnen deze zone wordt een hoogtebeperking voor nieuwe gebouwen en vegetatie opgelegd. Dit zal verder onderzocht worden in de plan-MER.

De effecten ten aanzien van de functies “kleinhandel” en “infrastructuur” worden als niet relevant geacht. Mogelijke hoogtebeperkingen voor de kleinhandel zijn te vergelijken met de mogelijke effecten ten aanzien van wonen. De mastlocaties en hoogtes zullen in een latere fase afgestemd worden op de reeds bestaande en gekende nog aan te leggen wegen (incl. bruggen). Er zijn geen restricties van het gebruik van de overspannen wegen in de exploitatiefase.

Bij landbouwers is er bezorgdheid over mogelijke effecten van elektrische en magnetische velden op landbouwgewassen of –dieren, alsook over mogelijke effecten op (GPS-navigatie van) landbouwmachines en andere mogelijke gebruiksbeperkingen. Gezien de vele vragen hieromtrent die ontvangen zijn tijdens de publieke consultatie, heeft het planteam aan het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek gevraagd na te gaan welke wetenschappelijke/technische kennis er reeds beschikbaar is omtrent mogelijke invloeden van hoogspanningsinfrastructuur op het landbouwkundig functioneren. Het resultaat van deze studie en de aanbevelingen van het planteam in navolging van de studie is terug te vinden in bijlage 7 bij de scopingnota. Uit de studie bleek dat er nog veel leemten in de kennis zijn betreffende een mogelijke invloed van magnetische velden. De informatie uit de studie zal, waar nodig, in de plan-MER gebruikt worden. Daarnaast heeft Elia ook een protocol met de landbouworganisaties afgesloten waarin alle afspraken zijn vastgelegd (en vergoedingen afgesproken zijn). Het protocol zal herzien worden, onder andere in functie van de inzichten die de studie van het ILVO heeft opgeleverd.

Door het realiseren van een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding zijn effecten ten aanzien van reeds aanwezige of toekomstige windturbines niet uit te sluiten, wat relevant kan zijn voor de effectgroep bedrijvigheid.

Het aanleggen van bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbindingen heeft geen permanent effect op mogelijke recreatieve routes (waaronder wandelroutes, fietsroutes, ruiterpaden, trage wegen,…). Tijdens de werken is het mogelijk dat bepaalde recreatieve routes tijdelijk onderbroken zullen zijn, deze kunnen echter hersteld worden in de exploitatiefase. In het plan-MER zal wel nagegaan worden of er een relevante invloed is op specifieke soorten recreatie zoals ballonluchtvaart, sportvliegtuigen, modelvliegtuigen, duivensport… die gebruik maken van het luchtruim.

Zoals reeds eerder beschreven zal de uitvoering van het planvoornemen zorgen voor een bevoorradingszekerheid en aansluitingsmogelijkheden creëren voor bijkomende productie van hernieuwbare energie onshore en op zee. Er kan dus gesteld worden dat uitvoering van het planvoornemen het functioneren van economische activiteiten in de ruime omgeving van het plangebied mogelijk maakt, wat kan aanzien worden als een positief effect.

Ruimtelijke beleving – (visuele) hinder

Daar waar bestaande hoogspanningslijnen herbenut worden, zal de bijkomende visuele hinder beperkt tot verwaarloosbaar zijn. Er bestaan op uitvoeringsniveau immers mogelijkheden om te kiezen voor masttypes die sterk gelijkaardig zijn aan de bestaande masten (compacte vakwerkmasten) of te

[20] Ter info: landbouwers worden ter hoogte van de masten vergoed voor het verlies aan oppervlakte, in praktijk is het verlies dikwijls beperkter dan de vergoede oppervlakte, vb. in weides waar gegraasd kan worden onder de masten.

kiezen voor masten met een vergelijkbare visuele verstoring (windtrack masten). Daar waar nieuwe bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbindingen worden aangelegd, zal er zowel tijdens de aanlegfase als de exploitatiefase visuele hinder zijn. Hinder tijdens de aanlegfase is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase, waardoor dit op planniveau niet verder onderzocht wordt. Visuele hinder door de aanwezigheid van de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbindingen zal wel verder onderzocht worden in de plan-MER.

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase kunnen negatieve effecten inzake lichtverstoring optreden, gezien er momenteel als worst-case verondersteld wordt dat er bijna overal dag- en nachtbebakening zal aanwezig zijn. Mogelijke effecten zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

Uit de discipline geluid blijkt dat bij nat en vochtig weer er zich rond de geleiders een corona-effect kan voordoen, waarbij verhoogde geluidsemissies kunnen optreden. Alhoewel deze onder de wettelijke normen blijven, kan dit toch voor hinder zorgen voor omwonenden en passanten. Echter, gezien deze effecten zich enkel voordoen bij nat en vochtig weer, kan aangenomen worden dat omwonenden zich op deze momenten voornamelijk binnenshuis bevinden, waar dit corona-effect niet of verwaarloosbaar waarneembaar zal zijn. Bijgevolg zal eventuele hinder zeer beperkt en tijdelijk zijn. Mogelijke hinder voor passanten wordt beperkt negatief beoordeeld, gezien deze tijdelijk van aard is, met name enkel op het moment van passeren langs de hoogspanningslijn.

Er worden geen permanent negatieve effecten verwacht inzake wind- en schaduweffecten en inzake de aspecten sociale beleving en privacy. Aspecten inzake veiligheid worden behandeld in § 4.12.

<u>Ruimtelijke structuur en wisselwerking met de ruimtelijke context</u>

De realisatie of herbenutting/versterking van een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding zal zorgen voor een wijziging in ruimtelijke structuur en de ruimtelijke context. Deze aspecten zullen bijgevolg verder onderzocht worden in de plan-MER.

4.7.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen in de plan-MER verder onderzocht worden:

- Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit;
- Ruimtelijke beleving – visuele hinder;
- Ruimtelijke structuur en wisselwerking met de ruimtelijke context.

4.7.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Bij het beschrijven van de referentiesituatie wordt o.m. aandacht besteed aan de aanwezige functies van en binnen het plangebied (landbouw, wonen, bedrijvigheid, voorzieningen), de bestaande ruimtelijke kwaliteiten en knelpunten en de functionele en visuele relaties.

De beschrijving van de referentiesituatie wordt van meet af aan gestructureerd volgens de subdisciplines en effectgroepen zoals deze besproken zullen worden in de effectbeschrijving.

- Bestemming: compatibiliteit van de bestaande functies met de geldende juridische bestemmingen en de beleidsvisie(s)
- Gebruikswaarde: aanwezige functionele deelsystemen (wonen, landbouw, bedrijvigheid) en hun ruimtelijke samenhang; het functioneren van de activiteiten in en rond het plangebied
- Beeld- en belevingswaarde: perceptieve kenmerken van de omgeving

Voor de beschrijving van de referentiesituatie zullen o.a. volgende informatiebronnen geraadpleegd worden:

- Topografische kaarten, luchtfoto's;
- Stratenatlas;

- Landgebruik binnen het plangebied o.b.v. topografische kaarten, orthofoto's en terreinbezoek;
- Gewestplannen, BPA's, RUP's,..

4.7.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De discipline mens-ruimtelijke aspecten omvat de effecten van de aanwezigheid en de werking van het planvoornemen op het wonen, het werken, de landbouwfunctie en de recreatie in de omgeving. Dikwijls hebben dergelijke effecten een sociaaleconomisch karakter. Gezien de functie landbouw nog steeds kan uitgevoerd worden ter hoogte van de doorkruiste landbouwpercelen, worden er geen specifieke effecten verwacht voor percelen welke gelegen zijn binnen Herbevestigd Agrarisch Gebied (HAG). Door uitvoering van dit planvoornemen zal er voor de bovengrondse hoogspanningsverbindingen immers geen HAG ingenomen worden.

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline mens kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom steunen op objectieve criteria.

Ook de functionele aspecten die betrekking hebben op de invloed van de gewijzigde infrastructuur op het ruimtelijk functioneren, op de relaties tussen de verschillende functies en mate waarin ontwikkelingsmogelijkheden gecreëerd of ontnomen worden komen aan bod.

In stap 1 zal er per (relevante) functie algemeen aangegeven worden wat de mogelijke effecten kunnen zijn. In stap 2 zal dan bijkomend waar relevant rekening gehouden worden met de juridische referentietoestand daar waar deze zou verschillen van de feitelijke referentietoestand (vb. nog niet ingevulde bedrijventerreinen of woongebieden). Er wordt hierbij geen rekening gehouden met eventuele hoogtebeperkingen die momenteel reeds opgelegd worden in sommige BPA's, RUP's en/of verkavelingsvoorschriften. Indien die er zouden zijn, dan zal er in sommige gevallen geen bijkomend negatief effect zijn ten gevolge van de veiligheidszone, gezien er al hoogtebeperkingen zijn in de beschouwde referentiesituatie. Er wordt bij de beoordeling dus uitgegaan van een worst-case, met name dat er in de referentietoestand nog geen hoogtebeperkingen zijn.

Daar waar een nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbinding zou aangelegd worden binnen een bestemming parkgebied, natuurgebied, groengebied of daarmee gelijkaardige bestemmingen en de feitelijke toestand zou verschillen van deze bestemming, worden de verschillen niet in beeld gebracht, gezien deze bestemmingen geen hoge opgaande vegetatie vereisen en er binnen de veiligheidszone nog steeds een grondgebruik gerealiseerd kan worden volgens de geldende bestemming.

Tabel 4-5: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Mens-ruimtelijke aspecten

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit	Functiewijziging en wijziging in bodemgebruik Wijziging maatschappelijk functioneren	Inschatting mogelijke toekomstige beperkingen ten aanzien van bestaande functies	Het effect wordt als significant beoordeeld als het bodemgebruik wijzigt en dit een invloed heeft op het ruimtelijk en maatschappelijk functioneren (r.m.f) r.m.f. verhinderd of vernieuwd = sterk significant r.m.f. bemoeilijkt of versterkt = beperkt tot matig significant Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Effecten t.g.v. gewijzigde visuele beleving	Hiervoor wordt deels verwezen naar discipline Landschap Linken met de randen van het plangebied	Kwalitatieve beschrijving van de wijzigingen in de omgeving die leiden tot een visuele impact + beschrijving hoe hierdoor de belevingswaarden kunnen wijzigen	Mate van visuele impact, mate waarin de waarnemings- en waarderingskenmerken worden beïnvloed Effectenbepaling o.b.v. expert judgement
Ruimtelijke structuur en samenhang	Doorsnijden, verstoren, versterken of creëren van ruimtelijke samenhang	Kwantitatieve/kwalitatieve beschrijving	Significantie van het effect wordt bepaald door de omvang van de ruimtelijke structuur die gewijzigd wordt. Effectenbepaling o.b.v. expert judgement

De discipline mens – ruimtelijke aspecten is een bij uitstek holistische en kwalitatieve discipline. Alhoewel bepaalde aspecten in bepaalde gevallen kunnen gekwantificeerd worden (b.v. terrein-inname), bestaan er geen harde en eenduidige kwantitatieve grenswaarden waaraan getoetst kan worden om effectscores toe te kennen (b.v. vanaf hoeveel te verwijderen woningen is sprake van een aanzienlijk negatief effect ?). Het aspect visuele beleving is bij uitstek een aspect dat moeilijk kwantitatief kan beoordeeld worden. Daarnaast vertoont dit aspect een belangrijke interactie met de discipline landschap.

Ongeacht of een milieuaspect kwantitatief of kwalitatief wordt beoordeeld, zal de effectbeoordeling steeds afhangen van de interactie tussen twee aspecten:

- De ernst en omvang van het effect zelf;
- De kwetsbaarheid van de receptor of omgeving.

Dit kan b.v. volgend significantiekader opleveren (dit in geval van een negatief effect; bij positieve effecten zijn de scores uiteraard tegengesteld)[21]:

kwetsbaarheid	Ernst en omvang effect	Grote impact	Middelmatige impact	Beperkte impact
Zeer kwetsbaar		-3	-2	-1
Matig kwetsbaar		-2	-1/-2	0/-1
Weinig kwetsbaar		-1	0/-1	0

Voor het aspect visuele hinder kan bijgevolg opgemerkt worden dat een nieuwe HS-lijn in een visueel sterk verstoorde omgeving binnen de categorie “weinig kwetsbaar” komt te vallen, waardoor bij een grote impact, effecten als beperkt negatief (-1) zullen beoordeeld worden.

4.8 Mens – mobiliteit

4.8.1 Eerste beoordeling

Bijkomende verkeersbewegingen zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de **aanlegfase**. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de **exploitatiefase** beperken

[21] De scores 0/-1 (niet significant tot beperkt negatief) en -1/-2 (beperkt negatief tot negatief) zijn “halve” scores die werden toegevoegd om het onderscheidend vermogen van de effectbeoordeling te verhogen.

verkeersbewegingen zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. Deze mogelijke bijkomende verkeersbewegingen zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen. Effecten inzake parkeergelegenheid, verkeersveiligheid, mogelijke invloed op trage weggebruikers,… worden niet relevant geacht op planniveau. Er zijn voldoende maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

4.8.2 Nader te onderzoeken

Inzake bovengrondse hoogspanningsverbindingen worden geen aanzienlijke effecten verwacht wat betreft de discipline mens-mobiliteit op planniveau. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline mobiliteit meer nodig in de plan-MER.

4.9 Mens - hulpbronnen

4.9.1 Eerste beoordeling

Impact op oppervlaktedelfstoffen is reeds onder de discipline bodem-grondstofvoorraden beschouwd.

- Mogelijke impact op de **grondstofvoorraden** wordt onderzocht in de discipline bodem.

Het voorgenomen plan heeft de productie/hergebruik van afvalstoffen niet tot doel en er wordt geen water gebruikt in de exploitatiefase.

Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat de hernieuwbare energie van bijkomende onshore en offshore windparken op zee kan aanlanden en bijgevolg praktisch bruikbaar wordt. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen.

4.9.2 Nader te onderzoeken

Binnen de discipline Mens-hulpbronnen zijn geen effectgroepen bijkomend nader te onderzoeken.

4.10 Mens-gezondheid

4.10.1 Eerste beoordeling

<u>Geluidsverstoring</u>

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode,…), waardoor er op planniveau geen permanente effecten te verwachten zijn. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), daar waar nodig, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding kan in beperkte mate als geluidsbron optreden in de **exploitatiefase**. Rond de lijnen kan, vooral bij een hoge luchtvochtigheid, een corona-effect optreden, wat een licht gezoem veroorzaakt. Er zijn echter geen aanduidingen dat hoogspanningslijnen geluid produceren op een niveau dat gezondheidsschade zou kunnen veroorzaken. De experten van de klankbordgroep gezondheid kennen geen gefundeerd wetenschappelijk onderzoek over de relatie van geluidshinder door hoogspanning en gezondheid.

Door het gebruik van vb. aangepaste geleiders kan dit effect echter sterk verminderd worden.

Uit eerdere studies (zie §4.6) bleek dat de berekende maximale waarden voor een 380 kV-verbinding bij verschillende onderzochte masttypes onder de vooropgestelde normen gelegen zijn. Ook de in praktijk gemeten corona-effecten lagen steeds onder de norm[22]. Gezien de berekende verwachte niveaus uit eerdere studies onder de norm (53 dB(A)) lagen, de niveaus op zichzelf vrij laag waren en dit de niveaus zijn die zich buitenshuis bij regen/nat weer voordoen en gezien de configuratie van de meest recente masttypes het corona-effect nog kunnen beperken ten aanzien van de vroegere masttypes, wordt het geluidseffect door corona als een niet significant effect ingeschat. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder bestudeerd worden in de plan-MER.

Lucht

Door de aanleg van (bovengrondse) hoogspanningsverbindingen zijn geen bijkomende **geleidende emissies of geuremissies** te verwachten. Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder bestudeerd worden in de plan-MER.

Wijziging elektrische en magnetische-velden

Er wordt verwezen naar § 3.10.

Psychosomatische effecten

Er wordt verwezen naar § 3.10.

4.10.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen verder onderzocht worden:

- Wijziging magnetische velden
- Psychosomatische effecten

4.10.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

De methodiek voor het beschrijven van de referentiesituatie wordt weergegeven in §3.10.4.

4.10.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De methodiek voor het beschrijven van de effectvoorspelling en –beoordeling wordt toegelicht in §3.10.5.

4.11 Klimaat

De biotoopinname die gepaard gaat met de aanleg van bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbindingen is beperkt tot de zone van de masten. Daar waar opgaande vegetatie gekruist wordt, zal deze binnen de veiligheidszone afhankelijk van het omliggende landgebruik, vervangen worden door vb. laagblijvende bomen, struiken, grasland,… of zal de huidige vegetatie op welbepaalde tijdstippen gesnoeid worden. Er kan geoordeeld worden dat de aspecten met betrekking tot biotoopinname / -wijziging niet significant zullen zijn in relatie tot klimaatswijzigingen. Het

[22] In de periode oktober 2011-januari 2012 werden door AIB Vinçotte geluidsmetingen uitgevoerd onder of nabij vier hoogspanningslijnen om het geluidsniveau veroorzaakt door het corona-effect van de hoogspanningslijnen trachten te bepalen (zie verslag geluidstudie “immission measurements” corona effect op hoogspanningslijnen 03/09/2012 ref.: 60310445-28-001 door AIB Vinçotte).

planvoornemen heeft daarnaast ook geen bepalende of significante impact op de grondwatervoorraden.

Het plangebied omvat hoofdzakelijk geen effectief overstromingsgevoelige gronden. Op uitvoeringsniveau kan zo veel mogelijk vermeden worden dat masten binnen een overstromingsgevoelig gebied gerealiseerd worden. Indien dit niet mogelijk zou zijn, worden, rekening houdende met de beperkte oppervlakte-inname van de masten, geen aanzienlijke effecten verwacht met betrekking tot klimaatswijziging. Bebouwing en verharding kunnen een potentiële invloed uitoefenen op overstromingszones, zowel direct als indirect. Echter de inname van overstroombaar gebied per mastvoet is dusdanig beperkt dat hier geen significante invloed van verwacht wordt. Een aantal corridors overlappen wel met een signaalgebied. Het planvoornemen heeft in principe geen aanzienlijke impact op het ontwikkelen van nieuwe overstromingsgevoelige zones. Mastvoeten binnen overstromingsgevoelig gebied (toekomstig klimaat – grote kans) zullen extra verstevigd worden in kader van klimaatadaptatie.

Het planvoornemen is niet van die aard (beperkt bijkomend verkeer in exploitatiefase, geen verwarmingsemissies gebouwen) dat er een relevante impact op broeikasgassen wordt verwacht. Een impact wordt niet op bovenlokaal niveau verwacht. Het planvoornemen maakt indirect de realisatie van bijkomend duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk.

De nieuwe masten kunnen gerealiseerd worden, rekening houdende met de hoogste betrouwbaarheidsklasse (niveau 3) inzake windsnelheden, wat betekent dat ze bestand zijn tegen windsnelheden van 216 km/uur op 50 m hoogte. Ter vergelijking wordt meegegeven dat de betrouwbaarheidsklasse niveau 2 overeenkomt met windsnelheden van 200 km/uur op 50 m hoogte, wat op de grens gelegen is tussen Beaufort 10 en 11. Nuttig om te weten is dat Beaufort 12 nog nooit heeft plaats gevonden in België. Er kan dus gesteld worden dat er bij het ontwerp van de masten kan rekening gehouden worden met potentieel toenemende windsnelheden.

In de disciplines die nog verder worden onderzocht in de plan-MER, wordt tevens de klimaatreflex op lokaal niveau toegepast.

In de verdere plan-MER zal het effect van het totale planvoornemen beoordeeld worden.

4.12 Veiligheid

In de nabije omgeving van de te onderzoeken bovengrondse verbindingen zijn een aantal **Seveso-inrichtingen** gelegen. Er zal een RVR opgemaakt worden om de mogelijke effecten te beoordelen.

Om de algemene veiligheid te vrijwaren moet de uitvoerder Elia bepaalde afstandsregels inzake de nabijheid van **windturbines** en bovengrondse hoogspanningsverbindingen respecteren. Er spelen hierbij meer factoren dan enkel de elektrische veiligheidsafstanden. De turbulentiekegel achter een windturbine kan immers ongewenste trillingen veroorzaken in de geleiders van een luchtlijn. Omwille van deze reden wordt ook rekening gehouden met de tiphoogte en de rotordiameter van windturbines. Ten opzichte van windturbines[23] dient veiligheidshalve een afstand van minimaal 3,5 maal de rotordiameter van de windturbine gehouden te worden tot de geleiders. Op een kortere afstand is er interferentie van de luchtverplaatsingen door de windturbine op de geleiders mogelijk. Indien het om ruimtelijke redenen niet mogelijk is deze afstand aan te houden, dient geval per geval onderzocht te worden of het mogelijk is de om de hoogspanningslijn dichter bij de windturbine te plaatsen. O.a. trillingstudies kunnen worden uitgevoerd om de mogelijke impact van de windturbine op de geleiders in kaart te brengen. Waar het mogelijk blijkt om de hoogspanningslijn op te richten op een afstand die kleiner is dan de 3,5 maal de rotordiameter van de windturbine (al dan niet mits bijkomende maatregelen zoals trillingsdempers) is een afstand van 1,5 maal de rotordiameter van de

[23] Adviesprocedure voor werken in de buurt van hoogspanningslijnen – windturbines: https://www.elia.be/nl/infrastructuur-en-projecten/veiligheid-in-de-buurt-van-onze-installaties/werken-in-de-buurt-van-hoogspanning

windturbine sowieso de fysiek minimale veilige afstand voor strategische hoogspanningslijnen zoals Ventilus.

Binnen het plangebied zijn reeds een aantal windturbines aanwezig of vergund. In de plan-MER zal nagegaan worden welke zones gevrijwaard moeten worden om deze veiligheidsafstanden te kunnen respecteren.

Binnen en in de nabijheid van de te onderzoeken corridors voor bovengrondse verbindingen zijn meerdere **ondergrondse leidingen** aanwezig. Voor de inplanting van de masten in deze zones zal er op uitvoeringsniveau rekening gehouden worden met de minimale te respecteren veiligheidsafstanden tussen de ondergrondse leidingen en de funderingen van de mast, zoals vervat in de algemene richtlijnen van FETRAPI en de adviezen van de respectievelijke uitbaters.

Op uitvoeringsniveau moet eveneens rekening gehouden worden met het feit dat de ondergrondse leidingen tijdens de aanleg van de masten niet beschadigd mogen worden. Op basis van de adviezen van de uitbaters worden er tijdens de realisatiefase bijkomende veiligheidsstudies en –maatregelen uitgevoerd.

Bij werken met hoge landbouwvoertuigen onder hoogspanningslijnen moet erover gewaakt worden dat de geleiders en masten niet te dicht worden benaderd om de veiligheid te garanderen. De hoogspanningslijn wordt gedimensioneerd om een veilige passage mogelijk te houden. De veiligheidsvoorschriften om het landbouwgebruik op een veilige manier te kunnen uitvoeren zullen aan de landbouwers gecommuniceerd worden.

Voor het bepalen van de hoogte van de masten zal op uitvoeringsniveau steeds rekening moeten gehouden worden met de veiligheidsafstanden die het AREI oplegt. Het AREI bepaalt de minimum afstand van de geleiders tot de obstakels onder de lijn.

In de plan-MER zal een hoofdstuk veiligheid toegevoegd worden die het effect van het totale planvoornemen zal beoordelen.

5 Ondergrondse hoogspanningsverbinding

Voor het realiseren van het planvoornemen zal de hoogspannningsverbinding tussen de aanlandingslocatie en het station TBD/ conversiestation (eventueel met een tussenstation) ondergronds uitgevoerd worden. Voor de aanleg van deze verbindingen zijn op dit moment twee vrij ruime onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen aangeduid, waarbij de scoping eerder algemeen is gebeurd voor de volledige zones binnen deze onderzoeksgebieden.

Daarnaast wordt een gedeeltelijke ondergrondse aanleg van de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding tussen het station TBD en het station Izegem mogelijk geacht. Voor het hoofdalternatief "parallel aan Stevin" en het hoofdalternatief "via Eeklo-Aalter-Tielt" wordt het ondergrondse deel vastgelegd ter hoogte van de zone waar zich ook het huidig ondergrondse deel bevindt van de bestaande Stevin-as. Voor het hoofdalternatief "via de E403", "via de E40" en "via Koksijde" werd in §6.5 van de scopingnota bepaald voor welke corridors een gedeeltelijke ondergrondse aanleg niet onderzocht zal worden, met name voor corridors waar bestaande masten in gebruik blijven en waar het planvoornemen dus (hoofdzakelijk) kan gerealiseerd worden door het benutten van bestaande lijnen (zie §5.2 van de scopingnota). Voor de andere corridors wordt een gedeeltelijke ondergrondse aanleg dus wel onderzocht, ofwel binnen de corridor zelf, of binnen de aangeduide onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen.

De mogelijke effecten voor het ondergronds brengen van 150 kV-hoogspanningsverbindingen wordt beschreven in §6 van dit document en zal plaatsvinden binnen de aangeduide onderzoeksgebieden voor ondergrondse verbindingen.

De mogelijk te verwachten effecten van een ondergrondse aanleg van 220 kV en 380 kV verbindingen worden in onderstaande hoofdstukken beschreven. Hierbij wordt uitgegaan van een aanleg in open sleuf. Omwille van technische redenen of om de milieueffecten te beperken, kan ook een uitvoeringsvariant (sleufloze techniek, waaronder gestuurde boring) onderzocht en/of voorgesteld worden vanuit het milieueffectenonderzoek, indien een bepaalde kwetsbare zone zou gekruist moeten worden door een ondergrondse aanleg.

5.1 Bodem

5.1.1 Eerste beoordeling

Bodemverstoring en grondstofvoorraden

Het uitvoeren van het planvoornemen zal voor de ondergrondse hoogspanningsverbindingen gepaard gaan met vergravingen, vooral bij de aanleg in open sleuf. Bij een gestuurde boring zijn vooral vergravingen ter hoogte van het in- en uittredepunt relevant. Bijkomende verharding aan de oppervlakte wordt enkel voorzien ter hoogte van de inspectieputten van de 380kV- en 220kV-verbindingen.

- Effecten op **bodemprofielvernietiging en verstoring** zijn relevant bij aanleg van ondergrondse kabels in open sleuf, ter hoogte van bodems die kwetsbaar zijn voor profielvernietiging.
- Mogelijke effecten van **verdichting** kunnen zich voordoen ter hoogte van het ondergronds tracé zelf, de werkzone voor het aanleggen van de kabels en de toegangsweg(en) naar het tracé, en kunnen dus daar relevant zijn.

Globaal kan gesteld worden dat er binnen de onderzoeksgebieden en corridors waar de aanleg van ondergrondse verbindingen onderzocht wordt, plaatselijk bodems voorkomen met matige tot (zeer) gevoelige profielen.

In het plan zijn standaardmaatregelen voorzien om mogelijke effecten inzake profielverstoring en verdichting te beperken, zie bijlage 8 van de scopingnota. Om de effecten inzake profielverstoring te beperken, worden de teelaarde en de onderliggende bodemlagen apart afgegraven en afzonderlijk gestockeerd. Na de plaatsing van de kabels wordt de sleuf terug aangevuld met respect voor het onderscheid tussen de onderlagen en de teelaarde. Op die manier wordt het mogelijke effect beperkt,

echter het profiel zal nog altijd als permanent verstoord beschouwd worden, waardoor deze effectgroep toch verder onderzocht zal worden in de plan-MER.

Om mogelijke effecten inzake verdichting te beperken kunnen maatregelen genomen worden op uitvoeringsniveau (vb. gebruik van rijplaten, machines op rupsbanden,…). Gezien deze maatregelen standaard voorzien zijn in het plan waar nodig, de effecten zo voldoende kunnen beperkt worden en er na het nemen van deze maatregelen geen relevante permanente effecten meer worden verwacht, wordt geoordeeld dat de effectgroep verdichting niet verder moet onderzocht worden in de plan-MER.

Diepe ondergrondse constructies (zoals aaneengesloten parkeergarages e.d.m.) worden niet voorzien door uitvoering van het planvoornemen. Ten gevolge van de uitvoering van grondwerken is bij een aanleg in open sleuf een bemaling tot ca. 2,5 m onder het maaiveld niet uit te sluiten, waardoor eventueel een verhoogd risico voor **zettingen** (die mogelijk schade kunnen opleveren aan omliggende structuren) kan verwacht worden. Bij gestuurde boringen zal de bouwput ter hoogte van het in- en uittredepunt een grotere diepte hebben. Tijdens de aanlegfase kan ook hier (omwille van een eventuele bemaling) een verhoogd risico zijn. Er zijn beschikbare technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om het risico voldoende te beperken tot een verwaarloosbaar / beperkt risico (vb. retourbemaling) waardoor op planniveau geen relevante permanente effecten te verwachten zijn.

- Effecten op stabiliteit van omliggende structuren worden in eerste instantie op dit planniveau verwaarloosbaar ingeschat. Indien er in de fase van uitvoering meer gedetailleerde informatie over de stabiliteit wordt verkregen en er slappere lagen zouden voorkomen, kunnen er op uitvoeringsniveau steeds de nodige voorzorgen worden genomen.

Het planvoornemen heeft niet de uitbating van de ondergrond tot doel. De onderzoeksgebieden en corridors waar het aanleggen van ondergrondse verbindingen wordt onderzocht, overlappen wel plaatselijk met ontginningsgebied.

- Een mogelijke impact op de **grondstofvoorraden** valt op voorhand niet uit te sluiten. Deze effectgroep zal bijgevolg nader onderzocht worden in de plan-MER.

<u>Bodemkwaliteit</u>

Globaal kan gesteld worden dat er binnen de aangeduide onderzoeksgebieden voor het aanleggen van een ondergrondse verbinding en binnen een straal van 500m rondom de corridors waar een gedeeltelijke ondergrondse aanleg onderzocht wordt, meerdere dossiers gekend zijn in de OVAM-databank.

O.b.v. de informatie beschikbaar op https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/maatregelen-per-gemeente en de PFAS-verkenner PFAS (vlaanderen.be) blijkt dat er binnen of in de omgeving van de onderzoeksgebieden voor een ondergrondse aanleg en de te onderzoeken corridors voor een ondergrondse aanleg zones zijn waar no regret maatregelen van toepassing zijn (raadpleging dd 12/09/2022)[24]. Mocht bij de verdere uitwerking blijken dat er toch risico's inzake de verspreiding PFAS zouden zijn, dan zullen de nodige maatregelen cfr de sectorwetgeving genomen worden.

Tijdens de aanlegfase is een verspreiding van een (rest) verontreiniging mogelijk. Echter, de geldende wetgeving dient gevolgd te worden om dit risico tot een minimum te beperken.

Bij de aanleg van de hoogspanningskabels wordt er naar gestreefd om het uitgegraven materiaal volledig te gebruiken voor de heropvulling van de sleuf. Hiervoor wordt er dus geen "gebiedsvreemd" materiaal aangewend, waardoor de kans op een mogelijke wijziging van de bodemkwaliteit (o.a. op het vlak van textuur, milieuhygiënische kwaliteit, e.d.) bijna onbestaande is. Ook de tijdelijke stockage

[24] *De PFAS-verkenner fungeert als het centraal platform waarop alle datastromen in de verschillende milieu-compartimenten gericht worden. Een traject is lopende om data systematisch te ontsluiten naarmate resultaten beschikbaar en gevalideerd zijn. Op dit ogenblik is dit nog in opbouw waardoor er geen volledigheid geboden kan worden.* ***Het niet aanwezig zijn van informatie in de PFAS-verkenner mag dus niet leiden tot de conclusie dat er geen verontreiniging aanwezig is.***

van de uitgegraven (niet verontreinigde) grond naast de sleuf zal geen aanleiding geven tot een wijziging van de bodemkwaliteit.

Er wordt wel een beperkte hoeveelheid gebiedsvreemd materiaal toegevoegd, met name dolomiet of een ander warmtegeleidend materiaal. Er kan vanuit gegaan worden dat dit geen verontreiniging bevat, waardoor er geen risico op extra bodemverontreiniging bestaat.

Gezien de aard van de activiteiten (transport van energie via een ondergrondse hoogspanningsverbinding) zijn risico's op bodemverontreiniging in de exploitatiefase verwaarloosbaar.

Er worden vanuit de geplande activiteiten dan ook geen aanzienlijke effecten op bodemkwaliteit verwacht. Een strikte opvolging van de wetgeving terzake maakt dat het risico op bodemverontreiniging tot een minimum wordt herleid.

Bodemstabiliteit en erosie

Na uitvoering van het planvoornemen kan het oorspronkelijke bodemgebruik in de meeste gevallen verder gezet worden ter hoogte van de aangelegde ondergrondse verbindingen. Normaal landbouwgebruik is toegelaten. Wel is er een voorbehouden zone boven kabels die aangelegd werden in open sleuf, waar geen diepwortelende struiken, bomen, gebouwen en bijkomende verhardingen mogen voorkomen in de exploitatiefase.

Grote reliëfwijzigingen zijn vanuit het planvoornemen niet aan de orde. Plaatselijk zal de vegetatie wel wijzigen.

Ook zijn de landbouwpercelen binnen het plangebied op de potentiële erosiegevoeligheidskaart ingekleurd als percelen met een zeer lage of verwaarloosbare erosiegevoeligheid. Toch zijn ook een aantal beperkt erosiegevoeligere zones gelegen binnen de onderzoeksgebieden voor het aanleggen van ondergrondse verbindingen of de corridors waar een gedeeltelijke ondergrondse aanleg onderzocht wordt, of doorkruisen corridors waar de aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding onderzocht wordt, voorgestelde maatregelen binnen knelpuntgebieden afgebakend in goedgekeurde gemeentelijke erosiebestrijdingsplannen.

Het aanduiden van een ondergrondse hoogspanningsverbinding legt geen beperkingen op inzake mogelijke erosiebestrijdingsmaatregelen wat betreft de aanleg van grasstroken in de doorkruiste landbouwgebieden. Het realiseren van buffergrachten en opvangsystemen nadat er kabels werden aangelegd, zal in de meeste gevallen niet meer mogelijk zijn boven de aangelegde kabels. Omwille van de voorbehouden zones zal ook het aanleggen van houtkanten niet mogelijk zijn boven de gerealiseerde kabels. Op deze plaatsen zullen de voorgestelde erosiebestrijdingsmaatregelen moeten aangepast worden. In vele gevallen kan met een andere combinatie van maatregelen of door het (licht) verschuiven van de voorgestelde maatregelen een evenwaardig oplossingsscenario bekomen worden. Het effect wordt dan ook als niet aanzienlijk beoordeeld.

- Rekening houdend met de aard van het planvoornemen/de potentiële ingrepen en het gegeven dat de ondergrondse aanleg van kabels en leidingen geen invloed heeft op de gevoeligheid voor grondverschuivingen, kan er redelijkerwijze worden geconcludeerd dat er geen significante effecten t.a.v. erosie optreden (en dus zeker ook geen aanzienlijke effecten). Deze effectgroep hoeft niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

Erfgoedwaarde

De meeste te onderzoeken ondergrondse corridors interfereren niet met waardevolle bodems, met uitzondering van de variant via Oostkamp waar een heel beperkte zone gelegen is binnen de corridor. Binnen het studiegebied zijn wel (grotere) zones gelegen die aangeduid worden als bodemkundig erfgoed. Dit betekent dat deze zones potentieel kunnen vergraven worden.

Verharding

Het planvoornemen gaat bij het aanleggen van ondergrondse hoogspanningsverbindingen nauwelijks gepaard met het aanleggen van bijkomende verhardingen aan de oppervlakte (met uitzondering van de inspectieputten).

Opwarmingseffecten door warmteafgifte van de kabels

Door warmteafgifte van de ondergrondse kabels zal rondom de kabels opwarming van de bodem plaatsvinden. Afhankelijk van de warmteweerstand van de bodem kan een hogere temperatuurstijging rondom de kabels verwacht worden. Veen en in iets mindere mate klei kennen bijvoorbeeld een hoge warmteweerstand en zullen dus een snellere opwarming van de kabels en de bodem veroorzaken. Om de werking van de kabels te garanderen mogen de kabels maximaal een temperatuur van 90°C bereiken. Om dit technisch probleem te vermijden worden ondergrondse hoogspanningskabels in een dolomietbed of een ander warmtegeleidend materiaal aangelegd. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Dolomiet heeft een relatief hoge warmtegeleidbaarheid waardoor de warmte sneller afgevoerd kan worden. Dit voorkomt dat de kabels te sterk opwarmen. Het dolomiet zorgt bovendien voor een ruimtelijke spreiding van de warmte waardoor de opwarmingseffecten op de bodem gereduceerd worden. De dikte van het dolomietbed wordt afgestemd op de bodemsamenstelling om steeds een voldoende koeling te bekomen. De plaatsing van de kabels en het dolomietbed wordt geoptimaliseerd zodat het temperatuurverschil ter hoogte van de teelaarde beperkt blijft bij een maximale belasting van de verbinding. Wanneer de bodem een hogere bodemwarmteweerstand heeft, dient er meer dolomiet rondom de kabels aangebracht te worden om de hoge temperatuurstijging van de kabels en de bodem te voorkomen. De dikte van het dolomietbed wordt zo bepaald dat er kan verzekerd worden dat deze voldoende bescherming biedt om de warmteafgifte van de ondergrondse kabels te beperken.

Uit de studie van ILVO (zie bijlage 7 van de scopingnota) blijkt dat in de bestaande literatuur geen significante impact gevonden wordt tengevolge bodemopwarming t.a.v. het bodem(leven) en het vochtgehalte.

Ter hoogte van de gestuurde boringen wordt geen dolomietbed aangebracht. De kabels worden ter hoogte van deze punten omringd door bentoniet waardoor ook hier vermeden wordt dat de kabels oververhit geraken en de opwarmingseffecten van de bodem gereduceerd worden.

Deze effectgroep zal bijgevolg niet nader onderzocht worden in de plan-MER.

5.1.2 Nader te onderzoeken

De mogelijke effecten werden voor de meeste effectgroepen voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is voor deze effectgroepen geen nader onderzoek meer nodig in de plan-MER. Gezien het studiegebied overlapt met ontginningsgebied zullen effecten op grondstofvoorraden wel onderzocht worden in de plan-MER. In de omgeving van een aantal te onderzoeken ondergrondse corridors en onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen, worden zones aangeduid als bodemkundig erfgoed, waardoor negatieve effecten niet op voorhand uit te sluiten zijn. Gezien, permanente effecten inzake profielverstoring niet uit te sluiten zijn, wordt deze effectgroep mee onderzocht in de plan-MER.

5.1.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld. Wat betreft de beschrijving van het bodemprofiel zal gebruik gemaakt worden van de bodemkaart van Vlaanderen. Wat betreft de beschrijving van de grondstofvoorraden zal in eerste instantie gebruik gemaakt worden van de aangeduide gebieden op het gewestplan. Indien beschikbaar, zal nagegaan worden in welke mate deze zone(s) in het verleden reeds ontgonnen is (zijn), gezien een verlies van grondstoffen zich potentieel enkel kan voordoen, daar waar de grondstoffen nog niet ontgonnen zijn.

5.1.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten inzake bodemverstoring en grondstofvoorraden zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Bodem.

Wat betreft de beschrijving van de grondstofvoorraden zal in eerste instantie gebruik gemaakt worden van de aangeduide gebieden op het gewestplan. Indien beschikbaar, zal nagegaan worden in welke mate deze zones in het verleden reeds ontgonnen zijn, gezien een verlies van grondstoffen zich potentieel enkel kan voordoen, daar waar de grondstoffen nog niet ontgonnen zijn. Indien er dus een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand (vb. een zone wordt aangeduid als ontginningsgebied, maar is in het verleden reeds volledig ontgonnen), zullen de mogelijke effecten ten opzichte van beide beoordeeld worden.

Wat betreft de beschrijving van het bodemprofiel zal gebruik gemaakt worden van de bodemkaart van Vlaanderen.

Een vergraving van een bodem die aangeduid wordt als bodemkundig erfgoed wordt negatief beoordeeld, indien de zone voor een groot deel verloren gaat en dit gezien deze zones net aangeduid zijn omwille van het feit dat deze bodems uniek, zeldzaam en dus wetenschappelijk of maatschappelijk waardevol zijn.

Tabel 5-1: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Bodem

Effecten	Criterium	Methodiek	Basisbeoordeling significantie
Profielverstoring	Afsluiten of afsnijden van diepere profielen	Op basis van de geologische kaarten en opbouw in het gebied wordt de kwetsbaarheid ingeschat	Het verstoren/vernietigen van lagen is significant wanneer kwetsbare bodems zoals veenbodems, plaggenbodems (m), podzolbodems (f,g,h), duinen (zeer kwetsbaar) worden doorsneden (profielontwikkeling p=niet relevant; profielontwikkelingen overige=beperkt kwetsbaar) . In reeds verharde / bebouwde delen is dit effect niet relevant.
Grondstof-voorraden	Wijziging grondstof-voorraden	Bepaling potentieel oppervlakteverlies ontginnings-gebied (in m²);	Relatieve oppervlakte die verloren gaat t.o.v. omgeving

5.2 Water

5.2.1 Eerste beoordeling

Grondwater

De kenmerken van ondergrondse hoogspanningsverbindingen zijn zodanig (beperkte diepte en opgevuld met permeabel materiaal) dat deze in de exploitatiefase geen relevante invloed zullen hebben op de **globale grondwaterstroming**. Deze effectgroep zal bijgevolg voor de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER. Het risico op permanente hydrologische veranderingen wordt verder besproken.

Bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen worden aan de oppervlakte enkel bijkomende verhardingen aangelegd aan de inspectieputten. Het hemelwater kan hiernaast infiltreren. Er worden hierdoor geen aanzienlijke effecten verwacht op de **grondwaterkwantiteit** in de exploitatiefase. Deze effectgroep zal bijgevolg voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

De te onderzoeken corridors voor een ondergrondse hoogspanningsverbinding, zijn niet ter hoogte van of in de directe omgeving van een **grondwaterwinning voor drinkwater** gelegen, met uitzondering van het oostelijk deel van variant 9c en de variant via Oostkamp, welke overlappen met de grondwaterwinning van Snellegem en het hoofdalternatief via de E40 welke ter hoogte van de op- en afrit Beernem overlapt met de grondwaterwinning van Beernem. Binnen onderzoeksgebied 1 en 3 zijn ook nog de grondwaterwinningen van Klemskerke en Sint-Andries gelegen. Mogelijke effecten zullen dan ook onderzocht worden in de plan-MER.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een **bemaling** zal nodig zijn voor het aanleggen van de ondergrondse kabels. Op voorhand kan een bemaling van meerdere weken in een kwetsbaar gebied niet uitgesloten worden. Dit kan mogelijks voor negatieve effecten zorgen (vb. op de voorkomende vegetatie, op eventuele nabijgelegen grondwaterwinningen, inzake verstoring van het zoet/zout evenwicht, mogelijke inklinking van veenbodems). Globaal gezien zijn de meest kwetsbare zones de zones waar poldergraslanden en verzilt grondwater voorkomen. Er zijn op uitvoeringsniveau technieken beschikbaar om mogelijke effecten te beperken (vb. aangepaste technieken waarbij bemalingsduur kan beperkt worden, toepassen van retourbemaling,…). De maatregelen / technieken die standaard voorzien zijn in het plan, zijn opgenomen in bijlage 8 van de scopingnota, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet zullen voorkomen. Echter, gezien de grote schaal / afstand van de tracés waarbij mogelijks bemaald moet worden, gezien permanente effecten niet volledig kunnen uitgesloten worden (vb. inklinking van veenbodems) en gezien de onduidelijkheid van de duur van de herstelperiode na de aanlegfase (leemte in de kennis), zal deze effectgroep toch verder onderzocht worden in de plan-MER.

Eventuele **permanente hydrologische veranderingen** (uitdroging/vernatting) na de werken ingevolge het doorbreken van waterdichte lagen en/of het aansnijden van watervoerende lagen voor zover die aanwezig zouden zijn, kunnen op voorhand niet uitgesloten worden. Hierdoor zou in bepaalde gevallen ook verontreiniging kunnen ontstaan in watervoerende lagen. Daarnaast zijn eventueel permanente hydrologische veranderingen mogelijk tengevolge van drainerende effecten van de sleuf.

Het dolomietbed waarin de kabels komen te liggen, heeft een grotere hydraulische doorlaatbaarheid dan de oorspronkelijke bodem. Hierdoor kan een drainerend effect optreden, indien in of nabij dit bed verlagingen gebeuren van de grondwaterstand. Na de aanleg van de ondergrondse kabel in een dolomietbed kunnen een drietal situaties ontstaan:

- het dolomietbed ligt in zijn geheel onder de watertafel;
- het dolomietbed ligt in zijn geheel boven de watertafel;
- het dolomietbed ligt wisselend boven/ onder de watertafel.

Enkel in de laatste twee gevallen kan een mogelijks blijvend effect optreden op het grondwater. Dit kan zich uiten in ofwel toegenomen drainage of irrigatie. Drainage gaat gepaard met een verlaging van de grondwaterstijghoogte, irrigatie daarentegen met een verhoging ervan.

De oorzaak van een gewijzigde grondwaterstijghoogte is in veel gevallen een ongewenste aantakking van een verzadigd dolomiettracé aan een waterloop waarvan het waterpeil een ander stand of regime kent dan de aangrenzende watertafel. Door de zeer hoge hydraulische doorlatendheid van het dolomietbed zal de waterhoogte die ingesteld is in de waterloop zich over grote afstand manifesteren in het dolomietbed. Afhankelijk van die hoogte, boven of onder de omringende grondwatertafel zal ze irrigerend of drainerend werken. In sommige gevallen kan dit aanleiding geven tot ongewenste vernatting/verdroging langs het dolomiettracé. De invloedstraal kan lang zijn en vele 100den m bedragen. Alles hangt af van de precieze positie van het dolomietbed en het potentiaalverschil tussen de aangetakte waterloop en de watertafel in en rond het dolomietbed. Hier kunnen zelfs seizoeninvloeden een rol spelen. Waterlopen die doorgaans drainerend werken kunnen dan plots een irrigerende werking hebben op de watertafel in de aangrenzende percelen. Dit is dan uiteraard een tijdelijk verschijnsel.

Een effectieve maatregel om doorslag van hydraulische druk te voorkomen, is de aanleg van bentonietkleistoppen op plaatsen waar het kabeltracé in de buurt komt van waterlopen (ongeacht de categorie), of waar waterlopen gekruist worden door een ondergrondse kabel. Gezien er op

uitvoeringsniveau een maatregel kan toegepast worden om negatieve effecten voldoende te beperken, wordt dit effect niet verder onderzocht op planniveau.

Met betrekking tot de **grondwaterkwaliteit** kunnen dezelfde conclusies getrokken worden als zijnde reeds aan bod gekomen onder de discipline bodem – effectgroep bodemkwaliteit. Bijkomend kan opgemerkt worden dat indien er tijdens een bemaling een risico zou zijn op het aantrekken van een restverontreiniging, er bij het volgen van de bestaande wetgeving voldoende garanties zijn dat hierdoor geen aanzienlijk negatieve effecten te verwachten zijn.

<u>Oppervlaktewater</u>

Een mogelijke bemaling voor de aanleg van ondergrondse kabels kan een tijdelijke invloed op de **oppervlaktewaterkwantiteit** hebben. Indien het opgepompte bemalingswater geloosd wordt in de dichtstbijzijnde beek of gracht, kan er immers tijdelijk een significante verhoging van het debiet optreden.

Indien het lozingsdebiet van het bemalingswater de capaciteit van de ontvangende waterloop overtreft, kan dit tijdelijk voor plaatselijke wateroverlast zorgen. Ook kan de bergingscapaciteit van de waterloop tijdelijk beïnvloed worden. Zeker in de gebieden die recent overstroomd zijn of die in een risicozone voor overstroming liggen, is er een vergroot risico. Echter, gezien dit een tijdelijk effect is, eigen aan de aanlegfase, en er geen permanente bemaling zal plaatsvinden in de exploitatiefase, worden geen permanente negatieve effecten verwacht op planniveau. Verder zijn er ook maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of te voorkomen (vb. bemalingswater lozen in oppervlaktewateren waarbij een bijkomend debiet geen problemen oplevert inzake wateroverlast, bemaling voorzien in droogste periode, retourbemaling,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Binnen de te onderzoeken corridors en onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen zijn een beperkt aantal signaalgebieden gelegen. Gezien de ondergrondse aanleg van kabels niet gepaard gaat met ophogingen en er enkel bijkomende verhardingen voorzien worden ter hoogte van de inspectieputten, worden in de exploitatiefase geen permanente effecten verwacht op de oppervlaktewaterkwantiteit. Deze effectgroep zal bijgevolg voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Als het lozingswater van een eventuele bemaling op de aanwezige oppervlaktewateren geloosd wordt, kan de **kwaliteit** van het **oppervlaktewater** worden aangetast (vb. lozen van verzilt grondwater of indien er grondwatervervuilingen in de omgeving van het plangebied aangetrokken worden door bemaling). Ook bij accidentele lozingen tijdens de aanleg van een kabel kan er een aantasting van de oppervlaktewaterkwaliteit zijn.

Op planniveau is echter nog niet gekend welke zones effectief zullen bemaald worden, tot op welke diepte, en waar het bemalingswater zal geloosd worden. Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te milderen (vb. bemalingswater lozen in oppervlaktewateren waar genoeg debiet is om verzilting zo veel mogelijk te verdunnen, vermijden lozen verontreinigd grondwater in oppervlaktewater,…), waardoor geen permanente effecten verwacht worden op planniveau. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen. Er dient verder ook steeds voldaan te worden aan de sectorwetgeving.

Indien de waterlopen gekruist worden in een open sleuf kunnen er tijdens de aanlegfase ingrepen gepland zijn die een effect kunnen hebben op de **structuur van het oppervlaktewater**. De effecten zijn echter zeer lokaal en tijdelijk en zullen niet aanzienlijk zijn. Ook bij de uitvoering van gestuurde boringen kunnen de nodige maatregelen genomen worden om te verhinderen dat de waterlopen zouden kunnen “doorslaan” naar de geboorde koker (vb. door het uitvoeren van grondboringen en afhankelijk van de resultaten de diepte van de boring te bepalen).

Tijdens het lozen van bemalingswater op de lokale waterlopen kan er eveneens een effect optreden naar structuurkwaliteit toe, ten gevolge van bijkomende turbulentie en plaatselijk uitspoeling van de oever of de waterbodem. De structuurkenmerken van de waterloop kunnen wezenlijk wijzigen indien het bemalingswater rechtstreeks wordt geloosd op een bepaalde plaats in de waterloop. Bij onrechtstreeks lozen vermindert het negatieve effect. Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te milderen. Daarnaast kan verwacht worden dat de structuurkwaliteit van de waterloop waar bemalingswater geloosd wordt, zich kan herstellen. Er worden met andere woorden geen significante permanente effecten op planniveau verwacht waardoor de effectgroep structuurkwaliteit niet verder onderzocht wordt in de plan-MER.

Afvalwater

Zowel in de aanleg- als exploitatiefase wordt geen afvalwater gegenereerd. Aspecten met betrekking tot **afvalwater** worden dan ook niet verder onderzocht in de plan-MER voor wat betreft de ondergrondse hoogspanningsverbindingen.

5.2.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen nader onderzocht worden in de plan-MER:

- Mogelijke effecten op grondwaterwinningen voor drinkwater
- Mogelijke effecten ten gevolge van de bemaling

5.2.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie, baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld (desktop informatie; er worden geen veldanalyses, detailinventarisaties en veldwerkzaamheden (op het vlak van grond/oppervlaktewaterstanden, -stroming, -kwaliteit, e.d.) uitgevoerd.). Voor het onderzoek naar de mogelijke effecten in relatie tot de uit te voeren (tijdelijke) bemaling, wordt gebruik gemaakt van o.a.:

- Geologie in relatie tot grondwaterhuishouding, meer bepaald grondwaterstanden en mogelijk aanwezige watervoerende of afsluitende lagen: o.a. geologisch kaartmateriaal en sonderingen op Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV/bodemverkenner);
- Informatie over grondwaterstanden (o.b.v. drainagetoestand bodemkaart, beschikbaar bodemonderzoek, sonderingsverslagen).

5.2.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten ten gevolge van mogelijke bemalingen en bestaande grondwaterwinningen zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Water. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, heeft dit geen relevante invloed op de beoordeling van deze effectgroepen. De mogelijke effecten zijn immers onafhankelijk van het (feitelijke of fictieve volgens de planologische bestemming) bodemgebruik.

Tabel 5-2: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Water

Effectgroep	**Criterium**	**Methodologie**	**Beoordeling significantie op basis van**
Wijziging ten gevolge van bemaling	Grondwaterpeil-wijziging tijdens de werken door bemaling	Inschatting obv[25] het voorkomen van mogelijke veenbodems, kwetsbare grondwaterafhankelijke	Indirecte effecten, vb. veenbodems, kwetsbare grondwaterafhankelijke vegetatie, voorkomen van ondiep verzilt grondwater

[25] Gezien het een beoordeling op planniveau betreft kan nog geen invloedstraal berekend worden gezien niet al de nodige gegevens gekend zijn. Daarom zal de beoordeling gebeuren op basis van het voorkomen van kwetsbaarheden.

Effectgroep	Criterium	Methodologie	Beoordeling significantie op basis van
		vegetatie, ondiep verzilt grondwater	
Wijziging kwaliteit of kwantiteit van bestaande grondwater-winningen voor drinkwater	Diepte van de vergraving – mogelijk risico op grondwater-verontreiniging	Inschatting van het mogelijk risico op grondwater-verontreiniging	Effecten zijn mogelijks significant indien de grondwaterwinning kan beïnvloed worden (kwalitatief of kwantitatief)

5.3 Biodiversiteit

5.3.1 Eerste beoordeling

Beschermde gebieden

Er zijn meerdere gebieden van het Natura 2000-netwerk en/of VEN-gebieden gelegen ter hoogte van de te onderzoeken ondergrondse corridors en onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen.

Bijgevolg zal er een Passende Beoordeling en verscherpte natuurtoets opgemaakt worden om de mogelijke effecten ten aanzien van de voorkomende beschermde gebieden te bespreken.

De te onderzoeken zones voor het aanleggen van een ondergrondse hoogspanningsverbinding overlappen op meerdere plaatsen met een (Vlaams of erkend) natuurreservaat. Nabij de aanlandingslocaties Vossenslag en Wenduine-west is een bosreservaat gelegen. In de omgeving van de meeste aanlandingslocaties zijn beschermde duinen gelegen volgens het Duinendecreet. Ter hoogte van Diksmuide is er eveneens een overlap met een Ramsargebied.

Biotoopverlies of -wijziging en verlies leefgebied

Ter hoogte van ondergrondse hoogspanningsverbindingen welke in open sleuf worden aangelegd, treedt tijdens de aanlegfase (tijdelijk) een totaal biotoopverlies op ter hoogte van de sleuf en de werkstrook (over een breedte van max. 70m). In de exploitatiefase kan de oorspronkelijke vegetatie in de meeste gevallen hersteld worden ter hoogte van de werkstrook. Ook ter hoogte van de sleuf kan de oorspronkelijke vegetatie hoofdzakelijk hersteld worden met uitzondering van o.a. diepwortelende bomen en struiken ter hoogte van de voorbehouden zone. Bepaalde vegetaties zijn echter dusdanig kwetsbaar, waardoor herstel na de aanleg niet zeker is of pas op (zeer) lange termijn zal kunnen plaatsvinden. Ook het permanent verwijderen van (oude structuurrijke) bosvegetatie ter hoogte van de voorbehouden zone betekent een biotoopverlies (of biotoopwijziging indien ter hoogte van de voorbehouden zone waardevolle niet-diepwortelende struiken / grassen worden aangeplant / ingezaaid). Bijgevolg zal permanent verlies van vegetaties en/of van leefgebieden van soorten onderzocht en beoordeeld worden in de plan-MER.

Tijdens de aanlegfase kunnen effecten van bodemverstoring zorgen voor een **biotoopwijziging**. Vooral soorten van natte milieus zijn zeer gevoelig voor betreding en verdichting van de bodem. Deze vegetatietypes zijn immers afhankelijk van de lokale abiotiek en door vergraving kan dit milieu lokaal gewijzigd worden, waardoor het herstel van deze vegetaties gehypothekeerd wordt. Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te milderen (vb. gebruik van rijplaten, machines op rupsbanden,…) waardoor op planniveau geen relevante permanente effecten te verwachten zijn Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen

(zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Door de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen worden geen relevante of permanente stikstofdeposities verwacht, die zouden kunnen leiden tot een biotoopwijziging, of een verminderde staat van instandhouding. Enkel tijdens de aanlegfase zijn stikstofemissies mogelijk. De **stikstofdeposities** die hiermee gepaard gaan zullen heel beperkt zijn, zowel in tijd als in hoeveelheid. De bijdrage van dit planonderdeel ter hoogte van de habitatwaardige percelen in de nabije omgeving is dus zeer beperkt en herstelbaar. Daarnaast kan verwezen worden naar de dalende trend in NOx emissies. Deze is het gevolg van reeds beslist beleid en van technologische en maatschappelijke evoluties en zal zich nog doorzetten in de toekomst door recente beleidsbeslissingen van de Vlaamse Regering. Er kan dus verwacht worden dat de achtergrondconcentratie wat betreft NOx in de toekomst nog zal dalen, waardoor de eventuele heel beperkte (tot verwaarloosbare) negatieve effecten ten gevolge van het planvoornemen zich zal herstellen door een daling van de achtergrondconcentratie. De mogelijke effecten worden besluitend als niet betekenisvol beoordeeld. Ook cumulatief voor de verschillende planonderdelen samen worden geen betekenisvol negatieve effecten verwacht, gezien de aanleg verspreid in de tijd en over een grote afstand zal gebeuren, waardoor de mogelijke gecumuleerde depositie ook verspreid, beperkt en herstelbaar zal zijn.

In de aanlegfase kan niet uitgesloten worden dat een bemaling zal nodig zijn voor het aanleggen van ondergrondse kabels. Een **bemaling** van meerdere weken van dergelijke omvang kan een negatieve invloed hebben op kwetsbare (grondwaterafhankelijke) vegetaties in de omgeving. In de plan-MER zal nagegaan worden waar dit potentieel het geval zou kunnen zijn.

<u>Verstoring</u>

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen negatieve effecten inzake **lichtverstoring** meer verwacht. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

De verstoringsgevoeligheid van een gebied voor **geluidsverstoring** is, inzake de voorkomende fauna, in belangrijke mate afhankelijk van 2 factoren, namelijk de aanwezigheid van verstoringsgevoelige soorten en de huidige verstoringsgraad van de gebieden.

Tijdens de exploitatiefase worden bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen geen rechtstreekse geluidseffecten verwacht. Mogelijke verstoring zal zich enkel voordoen tijdens een eventuele controle of tijdens onderhoudswerken (vb. vellen van bomen, onderhoud struikgewas in de voorbehouden zone). Deze mogelijke verstoring zal echter beperkt zijn en niet leiden tot (aanzienlijk) negatieve effecten.

Tijdens de aanlegfase zullen er echter wel geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Mogelijke effecten kunnen beperkt worden door het nemen van passende maatregelen op uitvoeringsniveau (vb. werken met geluidsarm materieel, werken buiten het broedseizoen,…), welke ook standaard voorzien zijn (zie bijlage 8 van de scopingnota). Hierdoor en gezien er geen permanente effecten verwacht worden, wordt deze effectgroep niet verder onderzocht in de plan-MER.

Over de effecten van **elektrische en magnetische velden** op fauna en flora is momenteel nog onvoldoende gekend. De internationale literatuur over dit thema bevat bovendien heel wat onduidelijkheden en elkaar tegensprekende resultaten, er wordt verwezen naar § 4.3.1 waar dit meer uitleg beschreven staat. Effecten voor avifauna kunnen niet worden uitgesloten, maar de inschatting van de aard (positief of negatief), grootte en de precieze gevolgen op soort- en populatieniveau dienen als een leemte in de kennis te worden beschouwd. Dit potentiële effect zal dus niet verder uitgewerkt kunnen worden bij gebrek aan wetenschappelijke kennis over de mogelijke effecten.

Er kan bijgevolg besloten worden dat effecten inzake verstoring voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen niet nader onderzocht dienen te worden in de plan-MER.

Connectiviteit en migratie

Het aanleggen van een ondergrondse hoogspanningsverbinding zorgt in de meeste gevallen niet voor een permanente versnippering, maar kan wel tijdelijke barrière-effecten veroorzaken. De meest in het oog springende barrière tijdens de aanlegfase zal de sleuf zelf zijn. De activiteiten in de werkstrook en de aanwezigheid van sleuven kunnen voor negatieve effecten zorgen op o.a. amfibieën, zeker tijdens de trekperiode. Echter, op uitvoeringsniveau kunnen voldoende maatregelen genomen worden om deze negatieve effecten te milderen (o.a. afspannen van de werkzone en vangen en overzetten van amfibieën, niet werken in het trekseizoen ter hoogte van potentiële trekroutes voor amfibieën, afspannen en afleiden van de amfibieën naar een zone waar geen projectingrepen plaatsvinden,…).

Na de aanlegfase kan de oorspronkelijke vegetatie zo goed mogelijk in haar oorspronkelijke staat hersteld worden. Enkel het herstel van diepwortelende vegetatie boven de aangelegde kabels binnen de voorbehouden zone is niet mogelijk. Gezien de te onderzoeken corridors en de beschouwde onderzoeksgebieden voor een ondergrondse aanleg over bijna de volledige lengte gelegen zijn ter hoogte van open ruimte (met landbouwpercelen) en dit huidig landgebruik na aanleg van de kabels kan verder gezet worden, wordt er op landschapsschaal weinig versnippering verwacht. Echter op microschaal kunnen wel barrières ontstaan daar waar opgaande vegetatie (hoofdzakelijk bomenrijen en houtkanten) definitief zal verdwijnen boven de kabels en de voorbehouden zone. Ook daar waar de oorspronkelijke vegetatie niet kan hersteld worden na de aanlegfase zal op microschaal versnippering optreden. Daarom zal deze effectgroep verder onderzocht worden in de plan-MER.

5.3.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen in de plan-MER nader onderzocht worden:

- Permanent verlies van biotopen en/of leefgebieden van soorten;
- Permanente biotoopwijzigingen ten gevolge van de bemaling;
- Versnippering en barrièrewerking door het permanent verlies van (opgaande) vegetatie.

5.3.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor de beschrijving van de referentiesituatie voor de discipline biodiversiteit zal er onder andere gebruik gemaakt worden van:

- Biologische waarderingskaart;
- Afbakening Speciale Beschermingszones en hun instandhoudingsdoelstellingen;
- Gegevens van lokale natuurverenigingen indien beschikbaar.

Er wordt algemeen geen gedetailleerd veldonderzoek of veldinventarisaties nodig geacht. Een algemeen terreinbezoek is wel voorzien.

5.3.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

Inzake biotoopverlies /-wijziging is er enerzijds het direct effect ter hoogte van de voorbehouden zone. Anderzijds kunnen ook indirecte effecten optreden ten gevolge van de bemaling tijdens de aanlegfase. Op basis van de beoordeling van de effecten van een mogelijke bemaling in de discipline grondwater, zal nagegaan worden wat de mogelijke invloed kan zijn op de potentieel aanwezige kwetsbare grondwaterafhankelijke vegetaties van de te onderzoeken ondergrondse corridors en onderzoeksgebieden voor ondergrondse aanleg.

Effecten inzake versnippering en barrièrevorming zijn enkel relevant daar waar opgaande vegetatie zich niet kan herstellen ter hoogte van de voorbehouden zone en daar waar zich momenteel ook een (potentiële) waardevolle migratieroute bevindt.

De mogelijke effecten worden in eerste instantie beoordeeld ten aanzien van de huidige natuurwaarden en dus de feitelijke referentiesituatie. Daar waar kan verwacht worden dat de natuurwaarden in de toekomst zullen stijgen (vb. thv percelen welke zijn opgenomen in een

natuurbeheerplan), wordt eveneens met deze toekomstige referentiesituatie rekening gehouden. Gezien geen diepwortelende vegetatie wordt toegelaten binnen de voorbehouden zone, is het ook relevant na te gaan of er zones zijn met een bestemming “bosgebied” en waar momenteel nog geen bos aanwezig is.

Tabel 5-3: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Biodiversiteit

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Biotoopverlies / winst – verlies aan leefgebied	Grootteorde aan oppervlakte waardevol gebied (voor fauna en/of flora) dat zal verdwijnen of gecreëerd worden	GIS-analyse, terreinbezoek oppervlakte waardevolle biotooptypes die mogelijk rechtstreeks dreigen aangetast te worden tengevolge van de invulling van het planvoornemen. Op planniveau is het hoofdzakelijk relevant om kwetsbaarheden inzake biotoopwijziging op te merken en hierover indien mogelijk GRUP-verfijningen voor op te stellen	Effecten zijn significant wanneer waardevolle biotopen verloren gaan of gecreëerd worden. Volgens BWK: • biologisch zeer waardevol, biologische waardevol, complex van waardevolle en zeer waardevolle elementen = zeer kwetsbaar • Complex van minder waardevolle en waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en zeer waardevolle elementen, complex van minder waardevolle en waardevolle tot zeer waardevolle elementen = matig kwetsbaar • biologisch minder waardevol = weinig kwetsbaar De significantie wordt dan verder gespecificeerd a.d.h.v. de potentiële omvang van het effect in relatie tot de omgeving, de context en de plaats. Uiteindelijke beoordeling gebeurt op basis van expert judgement.
Verdroging/ vernatting	Wijziging in grondwaterstand bij ondergrondse aanleg thv gevoelige vegetaties	Evaluatie o.b.v. expert judgement en kwetsbaarheidskaarten	Effecten kunnen significant zijn wanneer vernatting/ verdroging leidt tot aantasting van de vegetatie en/of de populatie van bepaalde diersoorten beïnvloedt
Versnippering en barrière-effecten	Aanduiding zones met opgaande vegetatie die gevoelig zijn voor versnippering en barrière-effecten.	Bespreking o.b.v. expert judgement	Effecten kunnen significant zijn wanneer de versnippering/ ontsnippering de verspreiding van soorten beïnvloedt. Effecten zijn ook significant wanneer het aandeel kernhabitat in belangrijke mate afneemt ten aanzien van het aandeel randhabitat.

Daar ten gevolge de realisatie van een ondergrondse hoogspanningsverbinding een beïnvloeding van kwetsbare en beschermde gebieden of de hier voorkomende soorten niet op voorhand uit te sluiten valt, zal een **Passende Beoordeling en verscherpte Natuurtoets** opgemaakt worden.

De mogelijke effecten van de hoogspanningslijn zullen afgewogen worden aan de beheervoorschriften van 'NATURA 2000-gebieden' en aan de bepalingen van artikel 36ter van het Vlaamse Natuurdecreet. Volgende stappen worden hierbij doorlopen:

- Er zal worden gestart met een **uiteenzetting** van de verschillende **natuurwaarden**. Dit moet leiden tot een algemene beschrijving van de natuurwaarden ter hoogte van de corridors, onderzoeksgebieden en onmiddellijke omgeving. Hier wordt aangehaald waar bepaalde opvallende waarden, knelpunten en potenties op vlak van vegetatie en fauna werden vastgesteld en wordt ook de historiek van het geheel in grote lijnen toegelicht.
- Nadien worden de verschillende **soorten** en **habitats** aangehaald die in en in de nabijheid van het studiegebied reeds werden vastgesteld en momenteel nog kunnen worden waargenomen, én dewelke opgenomen zijn binnen de richtlijnbijlagen met de verschillende beschermde soorten. Er wordt kortom in detail nagegaan of deze habitats en soorten werden vastgesteld binnen de invloedssfeer van de voorgenomen activiteit.
- In een volgende fase wordt kort nagegaan of het project **enig verband** houdt met het beheer van het gebied met het oog op natuurbehoud.
- Vervolgens wordt nagegaan of het planvoornemen **betekenisvolle (negatieve) gevolgen** kan hebben voor de voorkomende en tot doel gestelde habitats en soorten. Er zal met andere woorden een aftoetsing gebeuren ten aanzien van de goedgekeurde instandhoudingsdoelen.

Wanneer VEN-gebieden een eventuele invloed van werkzaamheden kunnen hebben, dient een verscherpte natuurtoets opgesteld te worden in kader van de vergunningsaanvraag. Volgende 4 essentiële vragen worden hieromtrent op projectniveau behandeld:

- Zijn er veranderingen aan de natuurwaarden ?
- Zijn de veranderingen voor de natuur nadelig ?
- Zijn deze veranderingen vermijdbaar ?
- Zijn deze veranderingen herstelbaar ?

Op planniveau zullen de mogelijke effecten ten aanzien van de voorkomende VEN-gebieden ook reeds in beeld gebracht worden.

5.4 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

5.4.1 Eerste beoordeling

Erfgoedwaarde

De aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding brengt geen bijkomende bebouwing met zich mee en de percelering blijft eveneens ongewijzigd. Verder zullen er geen gebouwen/constructies afgebroken worden voor de aanleg van een ondergrondse kabel. Er worden bijgevolg geen rechtstreekse effecten verwacht op beschermde gebouwen/constructies. Permanente effecten tijdens de aanlegfase (vb. zetting ten gevolge van bemaling) kunnen vermeden worden door het nemen van passende maatregelen op uitvoeringsniveau. Deze maatregelen worden standaard toegepast waar relevant (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Er kan echter niet uitgesloten worden dat er opgaande begroeiing (bomenrijen en/of bossen) definitief verdwijnt ter hoogte van de voorbehouden zone. Deze kunnen een negatief effect hebben op voorkomende landschapsatlasrelicten, beschermde landschappen en stads- of dorpsgezichten ter

hoogte van of in de omgeving van het plangebied en eventueel ook op de contextwaarde van de beschermde monumenten of bouwkundig erfgoed.

Er wordt geoordeeld dat de mogelijke effecten van het definitief verdwijnen van opgaande begroeiing ter hoogte van de voorbehouden zone op erfgoedwaarden verder onderzocht dienen te worden in de plan-MER, dit ter hoogte van de te onderzoeken ondergrondse corridors en de onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen.

Archeologisch erfgoed

De ondergrond binnen het plangebied kan beschouwd worden als bodemarchief, waar voorzichtig mee moet omgesprongen worden in functie van de potentieel archeologische waarden. De aanleg van ondergrondse kabels gaat gepaard met vergravingen, waardoor er potentieel risico's zijn om archeologische waarden te verstoren of vernietigen. Er is dan ook een potentiële invloed te verwachten op (reeds gekend / niet gekend) archeologisch erfgoed. De aan- of afwezigheid van archeologische sporen kan enkel met verder onderzoek worden vastgesteld. Permanente veranderingen in de grondwatertafel zouden ook een nadelig effect kunnen hebben, maar worden tengevolge van het planvoornemen evenwel niet verwacht.

Er zijn binnen de te onderzoeken ondergrondse corridors geen 'beschermde archeologische sites' of 'vastgestelde archeologische zones' gelegen. Binnen onderzoeksgebied 2 voor het aanleggen van ondergrondse verbindingen wordt de historische kern van Diksmuide wel aangeduid als archeologische zone. Ook de historische stadskern van Oostende op de westelijke grens van onderzoeksgebied 1 en de historische stadskern van Deinze op de oostelijke grens van onderzoeksgebied 4 worden aangeduid als archeologische zone. Zeer lokaal worden er ter hoogte van de te onderzoeken ondergrondse corridors en onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen zones aangeduid als "gebieden waar geen archeologie te verwachten valt". Daarnaast komen er nog plaggenbodems en podzolbodems voor welke duiden op een verhoogde archeologische potentie en doorkruist het hoofdalternatief via Koksijde een zone met verhoogd risico op vergraven van wereldoorlogsrelicten.

Sinds 1 juni 2016 is via besluit het luik archeologie van het Onroerend erfgoeddecreet van kracht. Volgens de regelgeving ligt het initiatief bij de ontwikkelaar/bouwheer voor de opmaak van een bij de vergunningsaanvraag toe te voegen archeologienota.

Bij verplicht archeologisch onderzoek dient er bij de stedenbouwkundige of verkavelingsvergunning een bekrachtigde archeologienota te zitten. Criteria en drempels voor deze verplichting zijn afhankelijk van ondermeer de oppervlakte van de ingreep, de ruimtelijke bestemming, de ligging binnen of buiten vastgestelde archeologische zones of beschermde archeologische site, de aard van de vergunning, de aard van de aanvrager.

Daarnaast is ook de vondstmeldingsplicht van toepassing. Iedereen die, op een ander moment dan bij het uitvoeren van een archeologisch vooronderzoek, een archeologische opgraving of het gebruik van een metaaldetector, een roerend of onroerend goed vindt waarvan hij weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat het archeologische erfgoedwaarde heeft, is verplicht daarvan binnen drie dagen aangifte te doen bij het Agentschap Onroerend Erfgoed.

Een mogelijke impact kan niet op voorhand uitgesloten worden, daarom zal deze effectgroep verder onderzocht worden in de plan-MER.

Visuele kwaliteit en landschapsstructuur

Na de aanlegfase kan de oorspronkelijke vegetatie zo goed mogelijk in haar oorspronkelijke staat hersteld worden. Enkel het herstel van diepwortelende vegetatie boven de aangelegde kabels binnen de voorbehouden zone is niet mogelijk. Aangezien de opgaande vegetatie ter hoogte van een aantal corridors of ter hoogte van bepaalde zones binnen de te onderzoeken onderzoeksgebieden voor ondergrondse aanleg beeld- en structuurbepalend is, kunnen relevante effecten niet op voorhand uitgesloten worden.

De inspectieputten zijn bovengronds zichtbaar. Deze zijn echter beperkt in afmeting.

Deze effectgroep zal verder onderzocht worden in de plan-MER.

5.4.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen nader onderzocht worden in de plan-MER:

- de mogelijke effecten van het definitief verdwijnen van opgaande begroeiing ter hoogte van de voorbehouden zone op erfgoedwaarden;
- potentiële verstoring van archeologisch erfgoed;
- visuele kwaliteit en landschapsstructuur.

5.4.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Voor het beschrijven van de referentiesituatie baseert de MER-deskundige zich op basisinformatie die ter beschikking is of kan worden gesteld.

Waardevolle informatie ter afbakening van de referentiesituatie voor de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie zal worden gehaald uit het Geoportaal Onroerend Erfgoed (https://geo.onroerenderfgoed.be), uit de lijst van beschermde monumenten, landschappen, stads- en dorpsgezichten, de landschapskenmerkenkaart, de inventarissen onroerend erfgoed, de fysisch systeemkenmerkenkaart, de CAI,…

Tevens zal door de MER-deskundige een globale terreinverkenning uitgevoerd worden in de kwetsbare zones waarbij de opmerkelijke landschapsvormende factoren en de huidige positieve en negatieve beelddragers in het studiegebied op macroniveau zullen worden beschreven. Waar relevant geacht, zal (op grote schaal) gebruik gemaakt worden van zowel historisch als actueel kaartmateriaal en orthofoto's om de historiek van het studiegebied op macroniveau na te gaan. Dit kan van belang zijn bij het uitwerken van het finaal gekozen alternatief en de voorstellen van milderende maatregelen die het (oorspronkelijk) landschap kunnen herstellen.

Ten slotte zal er gekeken worden of er relevante info kan overgenomen worden uit de opgemaakte landschapsstudie (bijlage 6 bij de scopingnota).

5.4.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De mogelijke effecten zullen onderzocht worden door de MER-deskundige Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie. In stap 1 van het onderzoek wordt het niet nodig geacht een onderscheid te maken tussen de feitelijke en juridische referentietoestand. Indien er een verschil zou zijn tussen de juridische en feitelijke referentietoestand, zal de feitelijke toestand nagenoeg altijd de meest kwetsbare zijn. Als er een verschil is, heeft dit namelijk meestal te maken met nog niet ingevulde/ontwikkelde gebieden. In de juridische referentietoestand zal zowel het landschapsbeeld als de contextwaarde van de voorkomende erfgoedwaarden bijgevolg meer verstoord zijn. De beoordeling ten opzichte van de feitelijke referentietoestand kan bijgevolg als een worst-case aanzien worden. Mochten er zones zijn waar de juridische toestand de meest kwetsbare is, zal dit geen effect hebben op de conclusies van de kwetsbaarheidsanalyse (er bestaat namelijk geen risico dat bepaalde corridors/varianten/alternatieven op basis van de kwetsbaarheden ten opzichte van de feitelijke referentietoestand als niet weerhouden zouden beoordeeld worden).

In stap 2 zal wel nagegaan worden of er ook zones zouden zijn waar de juridische toestand kwetsbaarder zou zijn in vergelijking met de feitelijke referentietoestand (vb. nog niet ingevulde bosgebieden).

De ingrepen, die de landschappelijke situatie veranderen, bestaan in essentie uit het toevoegen van nieuwe elementen en het wijzigen of verwijderen van bestaande elementen. Het wijzigen van elementen wordt onderverdeeld in wijzigingen met betrekking tot de toestand en functie enerzijds en het voorkomen of uitzicht anderzijds.

De verschillende mogelijke effecten worden gegroepeerd volgens de verschillende invalshoeken van de discipline (**cultuurhistorie**, **landschapsstructuur** en **landschapsbeeld**).

In hoofdzaak wordt hier uitgegaan van de perceptuele kenmerken omdat deze objectief kunnen beschreven worden. Belevingskwaliteiten hangen immers nauw samen met een waardering en

interpretatie van de situatie en deze kunnen sterk verschillen afhankelijk van de invalshoek waaruit en hoe men een gebied bekijkt.

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline Landschap, Bouwkundig erfgoed en Archeologie kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom enerzijds steunen op objectieve criteriawaarden en anderzijds steunen op onderzoek met betrekking tot de invloed op omgevingsfactoren, perceptie en gedrag.

De te verwachten effecten op de intrinsieke waarde van het landschap, zowel binnen als buiten het onderzoeksgebied, als gevolg van de aanwezigheid van de ontwikkeling wordt onderzocht. Hieruit zal blijken of de voorziene aanleg al dan niet verenigbaar is met de landschappelijke waarde van het gebied.

Tabel 5-4: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Effectgroep	Criterium	Methodologie
Impact op de landschaps-structuur	Wijziging huidige landschapsstructuur door het verwijderen van opgaande begroeiing	Huidige landschapsstructuur toetsen aan ruimtelijke invulling projectgebied Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling
Aantasting erfgoedwaarden	Impact van verdwijnen van opgaande begroeiing op: Verstoring van bouwkundig erfgoed Verlies of verstoring van relicten	Kwetsbare gebieden voor aantasting erfgoedwaarden toetsen aan het potentieel verlies van opgaande vegetatie Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling
(Potentieel) Verlies archeologisch patrimonium	Aandeel in bodemverstoring	GIS-analyse, oppervlakte van de mogelijke verstoring rekening houdend met de potentiële aanwezigheid van archeologische vondsten
Impact op perceptieve kenmerken /landschapsbeeld	Wijziging visueel-ruimtelijke kenmerken / landschapsbeeld / vista's	Huidige landschapsbeeld toetsen aan toekomstig landschapsbeeld met betrekking tot het verwijderen van opgaande vegetatie Beschrijvende, kwalitatieve beoordeling

Het aspect "belevingswaarde" wordt behandeld bij de discipline Mens – ruimtelijke en sociale aspecten.

5.5 Lucht

5.5.1 Eerste beoordeling

Door de aanwezigheid van (ondergrondse) hoogspanningsverbindingen zijn geen bijkomende **geleidende emissies of geuremissies** te verwachten. Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen.

Met betrekking tot **klimaataspecten** worden evenmin aanzienlijk negatieve effecten verwacht gezien de bijkomende emissies in de exploitatiefase verwaarloosbaar zijn. Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat bijkomende duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk is.. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen en dus voor een daling van verontreinigende emissies.

5.5.2 Nader te onderzoeken

Inzake ondergrondse hoogspanningsverbindingen worden geen aanzienlijke effecten verwacht wat betreft de discipline lucht op planniveau. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet rechtstreeks leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline lucht meer nodig in de plan-MER.

5.6 Geluid

5.6.1 Eerste beoordeling

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende maatregelen beschikbaar om eventuele mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode, niet werken tijdens het broedseizoen,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota). Effecten tijdens de aanlegfase zullen geen permanente effecten als gevolg hebben en worden bijgevolg ook niet verder onderzocht op planniveau.

Tijdens de **exploitatiefase** worden ter hoogte van de ondergrondse hoogspanningsverbindingen geen rechtstreekse geluidseffecten verwacht. Door het bijplaatsen van toestellen in de hoogspanningsstations kan daar het geluidsniveau wel stijgen. Potentiële effecten worden besproken onder § 3.6. Mogelijke verstoring ter hoogte van de ondergrondse verbindingen zelf zal zich enkel voordoen tijdens een eventuele controle of tijdens onderhoudswerken (vb. vellen van bomen, onderhoud struikgewas in de voorbehouden zone). Deze mogelijke verstoring zal echter beperkt zijn en niet leiden tot aanzienlijk negatieve effecten.

5.6.2 Nader te onderzoeken

Inzake ondergrondse hoogspanningsverbindingen worden geen aanzienlijke effecten verwacht wat betreft de discipline geluid op planniveau. De activiteiten van het planvoornemen zullen niet rechtstreeks leiden tot een aanzienlijke wijziging in emissies. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline geluid meer nodig in de plan-MER.

5.7 Mens – ruimtelijke aspecten

5.7.1 Eerste beoordeling

Ruimtegebruik en gebruikskwaliteit

De hoogspanningsverbinding wordt als overdruk aangeduid, bovenop de huidige bestaande planologische bestemmingen.

Landbouw

Permanente effecten op de bodemgeschiktheid zijn sterk afhankelijk van de methode die gevolgd wordt tijdens het aanleggen van de kabels in open sleuf (vb. herstellen van de drainage achteraf, aanvoer van gebiedsvreemde grond, scheiden van grondlagen, verdichting, …). Er zijn op uitvoeringsniveau voldoende technieken / maatregelen beschikbaar om eventuele mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota). Wat betreft de doorkruising van landbouwpercelen kan bijv. vermeld worden dat indien er drainagebuizen worden beschadigd tijdens de aanlegfase of tijdens het eventuele diepgronden achteraf, dat deze ofwel passend zullen vergoed worden ofwel hersteld zullen worden.

Het aanduiden van mogelijke tijdelijke stockagezones in landbouwgebied zal, i.f.v. de uitvoeringsfase, in samenspraak met de betrokken landeigenaars/gebruikers gebeuren. Verder zal er op gelet worden dat er zo min mogelijk schade optreedt aan deze percelen en de eventuele voorkomende gewassen. Zo zullen de teelaarde en de onderliggende bodemlagen apart worden afgegraven en gescheiden gestockeerd worden. Na de plaatsing van de kabels (in het bed met warmtegeleidend materiaal) wordt de sleuf verder aangevuld met de uitgegraven gronden met respect voor het onderscheid tussen de onderlaag en de teelaarde.

Verder wordt de bereikbaarheid van de landbouwbedrijven en landbouwpercelen verzekerd, zowel tijdens als na de werken.

Uit de discipline bodem blijkt dat, permanente effecten inzake profielverstoring toch niet volledig uit te sluiten zijn. Dit kan ook een impact hebben op de bodemgeschiktheid voor landbouwgebruik nadien. Bij het aanleggen van ondergrondse verbindingen zijn ook inspectieputten noodzakelijk, welke in de exploitatiefase voor hinder kunnen zorgen tijdens het bewerken van de percelen. Mogelijke effecten zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

Gezien de vele vragen naar impact op de landbouw (diverse aspecten) die ontvangen zijn tijdens de publieke consultatie, heeft het planteam aan het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek gevraagd na te gaan welke wetenschappelijke/technische kennis er reeds beschikbaar is omtrent invloeden van hoogspanningsinfrastructuur op het landbouwkundig functioneren. Het resultaat van deze studie en de aanbevelingen van het planteam in navolging van de studie is terug te vinden in bijlage 7 bij de scopingnota. Uit de studie bleek dat er nog veel leemten in de kennis zijn betreffende een mogelijke invloed van magnetische velden. De informatie uit de studie zal, waar nodig, in de plan-MER gebruikt worden.

Daarnaast heeft Elia ook een protocol met de landbouworganisaties afgesloten waarin alle afspraken zijn vastgelegd (en vergoedingen afgesproken zijn). Het protocol zal herzien worden, onder andere in functie van de inzichten die de studie van het ILVO heeft opgeleverd.

Wonen, bedrijvigheid en kleinhandel

Na de aanlegfase is bebouwing boven de kabels verboden. Daar waar de potentiële ondergrondse corridors of onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen overlappen met nog onbebouwde zones woongebied (incl. kleinhandel) of industriegebied, zal bebouwing na uitvoering van het planvoornemen ter hoogte van de voorbehouden zones dan ook niet meer mogelijk zijn. Mogelijke effecten zullen verder onderzocht worden in de plan-MER. Hierbij wordt voor de effecten ten aanzien van kleinhandel verwezen naar de effecten ten aanzien van de woonfunctie.

Zoals reeds eerder beschreven zal de uitvoering van het planvoornemen zorgen voor bevoorradingszekerheid en aansluitingsmogelijkheden creëren voor bijkomende productie van hernieuwbare energie onshore en op zee. Er kan dus gesteld worden dat uitvoering van het planvoornemen het functioneren van economische activiteiten in de ruime omgeving van het plangebied mogelijk maakt, wat kan aanzien worden als een positief effect.

Recreatie

Tijdens de werken is het mogelijk dat bepaalde recreatieve routes tijdelijk onderbroken zullen zijn. In de exploitatiefase kunnen deze echter hersteld worden (ook ter hoogte van de voorbehouden zone), waardoor er geen permanente effecten op de recreatieve functie te verwachten zijn.

Ruimtebeleving en visuele hinder

Na de aanlegfase kan de oorspronkelijke vegetatie zo goed mogelijk in haar oorspronkelijke staat hersteld worden. Enkel het herstel van diepwortelende vegetatie boven de aangelegde kabels binnen de voorbehouden zone is niet mogelijk. Er worden geen aanzienlijke effecten inzake visuele hinder verwacht. Enkel aan enkele grotere beboste zones in aansluiting met de E40 zijn relevante effecten te verwachten. Echter, hier zorgt de E40 zelf al voor een visuele versnippering van de beboste zone, waardoor een mogelijke bijkomende permanente verwijdering van opgaande vegetatie ter hoogte van de voorbehouden zone als niet aanzienlijk wordt beoordeeld.

In de aanlegfase is verstoring door bijkomende verlichting niet uit te sluiten, echter deze verstoring is tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase worden geen negatieve effecten inzake lichtverstoring meer verwacht. Deze effectgroep zal bijgevolg niet verder onderzocht worden.

Infrastructuur

Er worden geen relevante effecten verwacht ten aanzien van de functie infrastructuur. Indien wegen gekruist zouden worden, kan een normaal gebruik in de exploitatiefase hervat worden.

Ruimtelijke structuur en wisselwerking met de ruimtelijke context

De realisatie van een ondergrondse hoogspanningsverbinding zal slechts heel beperkt zorgen voor een wijziging in ruimtelijke structuur en de ruimtelijke context, met name daar waar opgaande vegetatie ter hoogte van de voorbehouden zone niet kan hersteld worden. Deze aspecten zullen bijgevolg niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

5.7.2 Nader te onderzoeken

De aspecten van de voorbehouden zone tav functies landbouw, wonen en bedrijvigheid zullen verder onderzocht worden in de plan-MER.

5.7.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

Bij het beschrijven van de referentiesituatie wordt o.m. aandacht besteed aan de aanwezige functies van en binnen het plangebied (landbouw, wonen, bedrijvigheid, voorzieningen), de bestaande ruimtelijke kwaliteiten en knelpunten en de functionele en visuele relaties.

De beschrijving van de referentiesituatie wordt van meet af aan gestructureerd volgens de subdisciplines en effectgroepen zoals deze besproken zullen worden in de effectbeschrijving.

- Bestemming: compatibiliteit van de bestaande functies met de geldende juridische bestemmingen en de beleidsvisie(s)
- Gebruikswaarde: aanwezige functionele deelsystemen (wonen, landbouw, bedrijvigheid) en hun ruimtelijke samenhang; het functioneren van de activiteiten in en rond het plangebied

Voor de beschrijving van de referentiesituatie zullen volgende informatiebronnen geraadpleegd worden:

- Landgebruik binnen het projectgebied o.b.v. topografische kaarten, orthofoto's en terreinbezoek;
- Gewestplannen, BPA's, RUP's,..

5.7.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De discipline mens-ruimtelijke aspecten omvat de effecten van de aanwezigheid en de werking van het planvoornemen op het wonen, het werken, de landbouwfunctie en de recreatie in de omgeving. Dikwijls hebben dergelijke effecten een sociaaleconomisch karakter.

Beoordelingscriteria met betrekking tot de discipline mens kunnen nooit volledig uit kwantitatieve grootheden bestaan door de complexiteit en het holistisch karakter van het studieobject. De beoordeling in de verschillende effectengroepen zal daarom steunen op objectieve criteria.

Ook de functionele aspecten die betrekking hebben op de invloed van de gewijzigde infrastructuur op het ruimtelijk functioneren, op de relaties tussen de verschillende functies en mate waarin ontwikkelingsmogelijkheden gecreëerd of ontnomen worden komen aan bod.

In stap 1 zal er per (relevante) functie algemeen aangegeven worden wat de mogelijke effecten kunnen zijn. In stap 2 zal dan waar relevant rekening gehouden worden met de juridische referentietoestand (vb. nog niet ingevulde bedrijventerreinen of woongebieden).

Gezien de functie landbouw nog steeds kan uitgevoerd worden ter hoogte van de doorkruiste landbouwpercelen, worden er geen specifieke effecten verwacht voor percelen welke gelegen zijn binnen Herbevestigd Agrarisch Gebied (HAG). Door uitvoering van dit planvoornemen zal immers geen HAG ingenomen worden.

Tabel 5-5: beoordeling voor de nader te onderzoeken effectgroepen van de discipline Mens-ruimtelijke aspecten

Effecten	Criterium	Methodiek	Basis beoordeling significantie
Ruimtelijk-functionele samenhang van de geplande bestemmingen en de toekomstwaarde	Functiewijziging en wijziging in bodemgebruik Wijziging maatschappelijk functioneren	Inschatting mogelijke toekomstige beperkingen ten aanzien van bestaande functies	Het effect wordt als significant beoordeeld als het bodemgebruik wijzigt en dit een invloed heeft op het ruimtelijk en maatschappelijk functioneren (r.m.f) r.m.f. verhinderd of vernieuwd = sterk significant r.m.f. bemoeilijkt of versterkt = beperkt tot matig significant Kwalitatieve bespreking o.b.v. expert judgement

5.8 Mens – mobiliteit

5.8.1 Eerste beoordeling

Bijkomende verkeersbewegingen zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de **aanlegfase**. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de **exploitatiefase** beperken verkeersbewegingen zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. Deze mogelijke bijkomende verkeersbewegingen zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen.

Effecten inzake parkeergelegenheid, verkeersveiligheid, mogelijke invloed op trage weggebruikers,… worden niet relevant geacht op planniveau. Er zijn voldoende maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen (zie bijlage 8 van de scopingnota).

5.8.2 Nader te onderzoeken

Inzake ondergrondse hoogspanningsverbindingen worden geen aanzienlijke effecten verwacht wat betreft de discipline mens-mobiliteit op planniveau. De mogelijke effecten werden voldoende in beeld gebracht en beoordeeld waar nodig. Er is geen nader onderzoek van de discipline mobiliteit meer nodig in de plan-MER.

5.9 Mens - hulpbronnen

5.9.1 Eerste beoordeling

Impact op oppervlaktedelfstoffen is reeds onder de discipline bodem-grondstofvoorraden beschouwd.

- Mogelijke impact op de **grondstofvoorraden** wordt onderzocht in de discipline bodem.

Het voorgenomen plan heeft niet de productie/hergebruik van afvalstoffen tot doel en er wordt geen water gebruikt in de exploitatiefase.

Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat uitvoering van het planvoornemen ervoor zal zorgen dat de hernieuwbare energie van bijkomende offshore windparken op zee kan aanlanden en bijgevolg praktisch bruikbaar wordt. Het realiseren van het planvoornemen kan bijgevolg onrechtstreeks zorgen voor een vermindering in het gebruik van fossiele brandstoffen.

5.9.2 Nader te onderzoeken

Binnen de discipline Mens-hulpbronnen zijn geen effectgroepen bijkomend nader te onderzoeken in de plan-MER.

5.10 Mens - gezondheid

5.10.1 Eerste beoordeling

<u>Geluidsverstoring</u>

Tijdens de **aanlegfase** kunnen geluidseffecten optreden. Echter, deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. Er zijn voldoende technieken / maatregelen beschikbaar op uitvoeringsniveau om mogelijke effecten te milderen of zelfs te voorkomen (vb. werken met geluidsarm materieel, niet werken tijdens de avond en/of nachtperiode,…), waardoor er op planniveau geen permanente effecten te verwachten zijn. Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), daar waar nodig, zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

Tijdens de **exploitatiefase** worden bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen geen rechtstreekse geluidseffecten verwacht. Mogelijke verstoring zal zich enkel voordoen tijdens een eventuele controle of tijdens onderhoudswerken (vb. vellen van bomen, onderhoud struikgewas in de voorbehouden zone). Deze mogelijke verstoring zal echter beperkt zijn en niet leiden tot aanzienlijk negatieve effecten.

Lucht

Door de aanleg van (ondergrondse) hoogspanningsverbindingen zijn geen bijkomende **geleidende emissies of geuremissies** te verwachten. Bijkomende **verkeersemissies** zullen zich hoofdzakelijk voordoen tijdens de aanlegfase. Deze zijn tijdelijk, lokaal en inherent verbonden aan de aanlegfase. In de exploitatiefase beperken verkeersemissies zich tot de momenten van controle en onderhoudswerken. De verkeersemissies die hiermee gepaard gaan zijn beperkt en zullen niet voor aanzienlijke effecten zorgen.

Wijziging Elektrische en magnetische velden

Er wordt verwezen naar § 3.10

Psychosomatische effecten

Er wordt verwezen naar § 3.10

5.10.2 Nader te onderzoeken

Volgende effectgroepen zullen verder onderzocht worden in de plan-MER:

- Wijzigingen magnetische velden
- Psychosomatische effecten

5.10.3 Methodiek grondig onderzoek referentiesituatie

De methodiek voor het beschrijven van de referentiesituatie wordt weergegeven in §3.10.4.

5.10.4 Methodiek effectvoorspelling en –beoordeling

De methodiek voor het beschrijven van de effectvoorspelling en –beoordeling wordt toegelicht in §3.10.5.

5.11 Klimaat

De biotoopinname die gepaard gaat met de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen is beperkt. Enkel daar waar opgaande vegetatie welke gelegen is ter hoogte van de voorbehouden zone, niet kan hersteld worden, zijn permanente effecten te verwachten. Er kan geoordeeld worden dat de aspecten met betrekking tot biotoopinname / -wijziging niet aanzienlijk zullen zijn in relatie tot klimaatswijzigingen. Het planvoornemen heeft daarnaast ook geen bepalende of aanzienlijke impact op de grondwatervoorraden.

Het plangebied omvat hoofdzakelijk geen effectief overstromingsgevoelige gronden. Een eventuele overstroming ter hoogte van een ondergrondse verbinding vormt geen probleem met betrekking tot het planvoornemen. Binnen de te onderzoeken corridors en onderzoeksgebieden voor de aanleg van ondergrondse verbindingen zijn een beperkt aantal signaalgebieden gelegen. Het planvoornemen heeft met betrekking tot ondergrondse verbindingen in principe geen aanzienlijke impact op het ontwikkelen van nieuwe overstromingsgevoelige zones. Uitgravingen boven aangelegde ondergrondse kabels zullen echter niet mogelijk zijn.

Het planvoornemen is niet van die aard (beperkt bijkomend verkeer in exploitatiefase, geen verwarmingsemissies gebouwen) dat er een relevante impact op broeikasgassen wordt verwacht. Het planvoornemen maakt indirect de realisatie van bijkomend duurzame offshore en onshore energieproductie mogelijk Een impact wordt niet op bovenlokaal niveau verwacht.

In de disciplines die nog verder worden onderzocht wordt tevens de klimaatreflex op lokaal niveau toegepast.

In de plan-MER wordt een beoordeling van het geheel van het planvoornemen van het aspectklimaat opgenomen.

5.12 Veiligheid

De stroom die door de kabels loopt, wekt een magnetisch veld op. Dit magnetisch veld wekt vervolgens een stroom op in de isolerende schermen van de kabel. Dit leidt enerzijds tot verliezen van elektriciteit (Joule-effect) en leidt anderzijds tot ongewenste elektrische stromen met veiligheidsproblemen als risico. Om de stromen in de schermen van de kabels te beperken wordt het systeem van Cross-bonding toegepast.

Om technische en veiligheidsredenen kan er geen nieuwe (hoogstammige) beplanting aangebracht worden boven de sleuf waar de ondergrondse hoogspanningsleiding wordt aangelegd.

In de plan-MER zal een hoofdstuk veiligheid toegevoegd worden die het effect van het totale planvoornemen zal beoordelen.

6 Ondergronds brengen van 70 kV- of 150 kV-lijnen

Afhankelijk van het gekozen hoofdalternatief of welbepaalde varianten, wordt ter hoogte van 1 of meer locaties voorzien in de herbenutting van het tracé van een bestaande 70 kV- of 150 kV-hoogspanningsverbinding. Indien voor één van deze varianten geopteerd wordt, dan dient de bestaande 70 kV- of 150 kV-hoogspanningsverbinding verplaatst te worden naar een andere locatie. Hierbij wordt dan voorzien dat deze vervangen zal worden door een ondergrondse kabelverbinding die volgens een nog nader te bepalen tracé aangelegd zal worden, hoofdzakelijk in bestaande openbare wegenis.

Ook voor de optimale vervanging van de bestaande 150 kV luchtlijn tussen Oostende en Brugge zal in eerste instantie gezocht worden naar een ondergrondse kabelverbinding in de wegenis.

Mogelijke overkoepelende effecten van de ondergrondse 70 kV- of 150 kV-verbindingen met de overige planonderdelen van het planvoornemen zijn niet op voorhand uit te sluiten. Daarom zullen de mogelijke effecten van het ondergronds brengen van deze verbindingen ook (kwalitatief) besproken worden in de plan-MER.

Afhankelijk van het feit of de specifieke tracés voor het ondergronds brengen van deze 70 kV- of 150 kV-verbindingen al dan niet zal beschikbaar zijn op het moment van de opmaak van het MER, zal de mogelijke impact meer in zijn algemeenheid of meer in detail beschreven kunnen worden. Algemeen kunnen op planniveau onderstaande effecten van het ondergronds brengen van de bestaande 70 kV- of 150 kV-verbindingen worden verwacht. Wanneer meer concrete info beschikbaar is tijdens de opmaak van het MER zal hier, indien relevant, dieper op ingegaan worden. Echter, uit onderstaande analyse van de belangrijkste disciplines blijkt al dat er op planniveau hoofdzakelijk geen relevante permanente effecten te verwachten zijn. Er wordt bij onderstaande effectbespreking uitgegaan van het feit dat de ondergrondse 70 kV- of 150 kV-verbindingen zo veel als mogelijk worden aangelegd onder de bestaande wegenis.

- Bodem

De aanleg zal hoofdzakelijk onder wegenis plaatsvinden dus daar waar de bodem reeds antropogeen en/of verstoord is. Ondanks de lange noodzakelijke verbindingen kan steeds een tracé gevonden worden dat nergens door onherstelbare waardevolle gebieden zal moeten. Er worden daardoor geen significant negatieve effecten verwacht inzake profielverstoring en/of bodemverdichting. De werkzone kan evenwel breder zijn (wanneer de bebouwing dit toelaat), waardoor de bodems hier wel tijdelijk verstoord en/of verdicht kunnen worden. Deze effecten kunnen evenwel voldoende gemilderd worden op uitvoeringsniveau. De werken brengen doorgaans een zeer beperkte grondoverschot met zich mee. Wanneer dit conform de regelgeving wordt behandeld, wordt hiervan geen significante impact verwacht.

Tijdens de afbraak van de bestaande lijnen zijn effectieve maatregelen beschikbaar in de uitvoeringsfase om eventuele negatieve effecten op de bodemkwaliteit te beperken tot een verwaarloosbaar of beperkt negatief effect.

- Water

Bemaling kan noodzakelijk zijn bij de aanleg van een ondergrondse verbinding waardoor eventueel (tijdelijke) verdroging kan optreden. Een permanent impact kan verwacht worden wanneer door de bemaling veen ontwaterd wordt. Er zijn op uitvoeringsniveau technieken /maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te beperken (vb. aangepaste technieken waarbij bemalingsduur kan beperkt worden, toepassen van retourbemaling,…). Ingeval tijdens opmaak van de plan-MER de specifieke tracés gekend zijn, zal hier dieper op ingegaan worden.

Indien waterlopen gekruist worden, kan er een impact zijn op de structuurkwaliteit door het vergraven van de oevers. Waterlopen worden doorgaans gekruist via gestuurde boringen wat dit effect vermijdt. Gezien momenteel nog geen detailprojectinformatie beschikbaar is, is een aanleg met vergraving van de oevers niet bij voorbaat uitgesloten. Echter, nadien kan de structuurkwaliteit zich herstellen, waardoor geen relevante permanente effecten te verwachten zijn.

Ondergrondse kabels worden aangelegd op een dolomietbed of een ander warmtegeleidend materiaal. Wanneer dergelijke laag voorzien wordt in een bodemtype met een sterk verschillende doorlatendheid (dolomiet heeft een grote waterdoorlatendheid), kan er een preferentiële grondwaterstroming ontstaan langsheen de ondergrondse kabel, waardoor er in het slechtste geval lokaal vernatting of verdroging kan ontstaan. Op uitvoeringsniveau dient dit nader bepaald te worden. Wanneer deze effecten verwacht worden, kunnen de nodige maatregelen genomen worden om dit te beperken.

- Biodiversiteit

Gezien de ondergrondse kabels hoofdzakelijk zullen worden aangelegd in de wegenis, wordt geen relevante vernietiging van biologisch waardevolle gebieden verwacht. Ondanks de lange noodzakelijke verbindingen kan steeds een tracé gevonden worden dat nergens door onherstelbare waardevolle gebieden zal moeten. De impact op fauna en flora zal zich vooral beperken tot eventuele verstoringsaspecten tijdens de aanleg. Deze is tijdelijk, permanente effecten in de exploitatiefase worden niet verwacht. Indien een bemalingsstraal tot in een grondwatergevoelig habitat zou reiken, zijn op uitvoeringsniveau technieken / maatregelen beschikbaar om mogelijke effecten te beperken (vb. aangepaste technieken waarbij bemalingsduur kan beperkt worden, toepassen van retourbemaling,…). Ter informatie wordt vermeld dat het tot de standaard uitvoeringspraktijk (van het plan) behoort om deze technieken / maatregelen toe te passen (zie bijlage 8 van de scopingnota), zodat de eventuele relevante negatieve effecten in de praktijk niet voorkomen.

- Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Er zijn geen permanent significant negatieve directe effecten op landschap te verwachten, gezien de kabels zich ondergronds bevinden en hoofdzakelijk onder de wegenis. Impact op eventueel beschermd erfgoed door de werken is niet uit te sluiten. Gezien de bodem dient te worden vergraven, is een impact op archeologisch erfgoed mogelijk. Gezien bodems onder de wegenis als reeds verstoord kunnen beschouwd worden en de geldende wetgeving reeds voldoende bescherming biedt wanneer een stukje tracé alsnog buiten wegenis zou (moeten) liggen, wordt het risico op vergraving van archeologisch erfgoed als eerder beperkt ingeschat.

- Mens

Het bodemgebruik blijft ongewijzigd waardoor hiervoor geen significant negatieve effecten zijn.

Tijdens de aanlegfase kan er hinder inzake verkeer, geluid en visuele hinder optreden. Gezien de kabel hoofdzakelijk in de bestaande wegenis zal gelegd worden, is tijdens de aanlegfase belangrijke hinder voor de gebruikers en omwonenden te verwachten. Deze impact is tijdelijk maar zal er opnieuw zijn indien defecten aan de kabel optreden en reparaties uitgevoerd moeten worden. Echter, ook op dat moment zal de hinder tijdelijk zijn. Ondanks de lange noodzakelijke verbindingen kan steeds een tracé gevonden worden dat nergens door onherstelbare waardevolle gebieden zal moeten.

Net als een bovengrondse hoogspanningsleiding genereert een ondergrondse kabel magnetische velden. Wanneer de tracés gekend zijn, zal hier dieper op ingegaan worden. Voor verbindingen waarbij de tracés nog niet gekend zijn tijdens de opmaak van het GRUP zal een beschrijving van de typische magnetische velden voor de desbetreffende verbindingen gegeven worden en zal dit gerelateerd worden aan de afstanden waarop de relevante veldwaarden zich voordoen. Bij een ondergrondse verbinding wordt het elektrisch veld tegengehouden door de isolerende omhulsels.

<u>Conclusie</u>

Enkel volgende permanente effecten kunnen verwacht worden:

- Inklinking van veenbodems indien veenbodems zouden bemaald worden tijdens de aanlegfase;
- Mogelijke impact van magnetische velden.

Mogelijke cumulatieve effecten van het ondergronds brengen van 70 kV- of 150 kV lijnen met de rest van het planvoornemen.

De magnetische velden ter hoogte van de ondergronds gebrachte 70 kV- of 150 kV-verbindingen zouden kunnen interfereren met de magnetische velden welke veroorzaakt worden rondom andere 70 kV- of 150kV-lijnen en nieuwe (bovengrondse of ondergrondse) 220 kV of 380 kV-verbindingen. Deze mogelijke interferentie zal verder besproken worden in de plan-MER.

Bijlage 3 Antwoordnota inspraakreacties

Inhoudsopgave

Resultaten Publieke Raadpleging 3

Procedure 5

1. Inspraak 5
2. Elementen ruimtelijk uitvoeringsplan 9
3. Onteigeningen 17
4. Nut van het project 18
5. Rol van Elia 19

Technologie 22

1. Ondergronds 24
2. Verstoring 30
3. Technische aspecten 30
4. Future proof 31

Alternatieven 34

1. Inspraakreacties inzake de plandoelstellingen die niet leiden tot een volwaardig (en dus redelijk) alternatief 34
2. Nulalternatief 38
3. Locatiealternatieven 39

3.1. Macroniveau 39

3.2 Mesoniveau 49

3.3 Microniveau 57

4. Uitvoering 58
5. Bezwaren en standpunten 63

Elektromagnetische velden (EMV) - Blootstelling 71

1. Voorzorgprincipe 71
2. Mogelijk effecten op mens 72
3. Waarde elektromagnetische velden 76
4. Effecten op technologie 78
5. Overige 79

Plan-MER 80

1. Algemene methodologie 80
2. Discipline bodem 81

3. Discipline water 82
4. Discipline biodiversiteit 85
5. Discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie 89
6. Discipline mens-ruimtelijke aspecten 91
7. Discipline mens gezondheid 92
8. Discipline mens mobiliteit 95
Landbouw 96
Impact op landbouwapparatuur 96
Impact op landbouwdieren 97
Impact op bewerking van akkers 97
Impact op landbouwgewassen 97
Impact op voedselveiligheid 98
Impact op veiligheid 98
Impact op gebouwen 99
Impact door de aanlegwerken en bij onderhoud 99
Veiligheid 105
Waardeverlies en vergoedingen 108
Interactie met lopende en toekomstige infrastructuurwerken 109
1. Windturbines 109
2. E403 110
3. Infrabel 111
Bezwaren en standpunten 112

Resultaten Publieke Raadpleging

Over de startnota van het GRUP Ventilus werd een publieke raadpleging gehouden tussen 29/04/2019 en 27/06/2019. Naar aanleiding van de publieke raadpleging werden 10 infomarkten georganiseerd in de volgende gemeenten: Oostende, Zwevegem, Zuienkerke, Brugge, Ardooie, Lichtervelde, Zedelgem, Izegem, Torhout, Jabbeke. Ook werden de betrokken besturen en administraties om advies gevraagd.

Via de website van Ventilus en tijdens de infomarkten konden burgers een inspraakreactie indienen. Daarnaast kon dit ook met een schrijven gericht aan de gemeente en/of het departement Omgeving. Dit heeft geresulteerd in:

- 10 infomarkten met 1564 bezoekers en 356 schriftelijke reacties. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de opmerkingen en suggesties die op de infomarkten mondeling werden geformuleerd. Deze zijn opgenomen in de verschillende verslagen.
- De participatieperiode waarin advies werd gevraagd aan de betrokken administraties en betrokken besturen en waarbij iedereen zijn opmerkingen en suggesties via www.omgevingvlaanderen.be, per brief of tegen afgiftebewijs bij de betrokken gemeenten en bij het departement kon bezorgen. In totaal gaat het om:
    - 42 adviezen
    - meer dan 3200 individuele bezwaren
    - 32 petities waarvan 1 werd ondertekend door ruim 1500 personen.
- De Projectwebsite www.ventilus.be waarop 75 reacties werden ontvangen.

In deze bijlage bij de scopingnota worden de resultaten van de publieke raadpleging (inspraakreacties, adviezen en petities) samengevat per thema besproken. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen individuele burger, petitie, adviesverlener of actiegroep. Alle elementen aanwezig binnen de inspraakreacties zijn gecategoriseerd en samengevat beantwoord per thema.

Een deel van de inspraakreacties, adviezen en petities hebben geleid tot een bijsturing van de scope en dit werd vertaald in de scopingnota. Een ander deel werd niet weerhouden voor bijsturing van de scope en het verdere onderzoek. De reden waarom is opgenomen in voorliggende nota.

Deze antwoordnota moet eveneens samen worden gelezen met de procesnota. In de procesnota is opgenomen dat in het kader van het gewestelijk RUP in mei 2021 een Intendant werd aangesteld. De Intendant heeft over een aantal inhoudelijk elementen (waaronder technologie en EMF-blootstelling) met verschillende stakeholders gesprekken gevoerd en hierover een advies uitgebracht. Het advies van de Intendant ligt inhoudelijk in lijn met de motivatie die door het planteam in voorliggende antwoordnota heeft geformuleerd met betrekking tot deze thema's.

Er wordt achtereenvolgens ingegaan op opmerkingen, adviezen en bezwaren over:

1. Procedure
2. Technologie
3. Alternatieven
4. EMF-Blootstelling
5. Plan-MER
6. Landbouw

7. Veiligheid
8. Waardeverlies en vergoedingen
9. Interactie met lopende en toekomstige infrastructuurwerken

Procedure

1. Inspraak

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen geven aan dat het niet de taak van de gemeente, adviesinstantie of burger is om opmerkingen te geven op een dossier dat dermate technisch is. Een gespecialiseerde voorkennis zou noodzakelijk zijn om een gemotiveerd advies te kunnen geven dat ingaat op onder meer de alternatieven.

De mogelijkheid om inspraak te leveren in het planvormingsproces is geenszins een verplichting, maar een wettelijk recht. Ook wanneer het planvormingsproces een complexe materie betreft wordt deze mogelijkheid voorzien.

Concreet moet hiervoor verwezen worden naar de betreffende bepalingen van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening die in artikel 2.2.7 §2 het volgende stelt:

"De Vlaamse Regering vraagt advies over de startnota aan :
1° de strategische adviesraad en de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen;
2° de deputaties van de betrokken provincies;
3° de colleges van burgemeester en schepenen van de betrokken gemeenten;
4° de door de Vlaamse Regering aangewezen diensten;
5° als het plan grenst aan een ander gewest of land of aanzienlijke effecten kan hebben op mens of milieu in een ander gewest of land, wordt het advies van het gewest of het land in kwestie gevraagd. Als het plan grenst aan of aanzienlijke effecten kan hebben op gebieden die onder de federale bevoegdheid vallen, wordt het advies van de federale overheid gevraagd. Als een land, een gewest, de federale overheid, een gemeente of een provincie verzoekt om de startnota te bezorgen, wordt ook advies gevraagd.

Het advies wordt uitgebracht binnen een termijn van zestig dagen, die ingaat op de dag na de ontvangst van de adviesvraag. Als die termijn wordt overschreden, kan aan de adviesvereiste worden voorbijgegaan.

De Vlaamse Regering informeert de bevolking van de betrokken gemeenten uiterlijk de eerste dag van de termijn van zestig dagen over de inhoud van de startnota, raadpleegt de bevolking over de startnota gedurende dezelfde termijn, organiseert hierover ten minste één participatiemoment en maakt daarvan een verslag."

Het is dus een wettelijke verplichting om advies te vragen en inspraak over de startnota te organiseren. Ingaan op deze adviesvraag en inspraakmogelijkheden is een recht.

Hoewel voorliggend GRUP een goede ruimtelijke afweging en een tracé dat de ruimtelijke draagkracht niet overschrijdt, nastreeft, valt niet te ontkennen dat het GRUP Ventilus sterk wordt bepaald door de technologische mogelijkheden die gepaard gaan met een hoogspanningslijn. Het is ook daarom dat het planteam voor de opmaak van de startnota voor technische expertise een beroep heeft gedaan op Elia. Als enige beheerder van het Belgische transmissienet beschikt Elia ook over specifieke technische kennis over de ontwikkeling, het beheer en de uitbating van hoogspanningsnetwerken die noodzakelijk is om met voldoende kennis van zaken beslissingen te nemen over het beoogde GRUP. Input van Elia aan de Vlaamse overheid is dan ook essentieel om het GRUP Ventilus te kunnen realiseren.

De vraag die in het kader van de participatieperiode voorlag, was of het planvoornemen, de alternatieven en de manier van onderzoek gedragen werd door de verschillende stakeholders. Zoals

uit voorliggende nota blijkt, is er massaal gebruik gemaakt van de mogelijkheid om hier opmerkingen en vragen over in te dienen.

Hierin is bijvoorbeeld technologie een belangrijk issue gebleken. Stellen dat de verschillende stakeholders niet in staat zouden zijn om dergelijke technische aspecten te beoordelen, is niet correct. Dit blijkt uit de vele gemotiveerde inspraakreacties die werden ingediend tijdens de participatieperiode. Dit alles heeft er onder meer toe geleid dat de noodzaak zich aandiende om te komen tot een groter gedeeld inzicht en gedeelde kennis over een aantal technische aspecten. Voor de plandoelstellingen van het project Ventilus is de technologiekeuze ook zeer bepalend op planniveau, onder meer voor wat betreft de mogelijke alternatieven/varianten die in het plan-MER moeten onderzocht worden. Duidelijkheid over de redelijk haalbare technologie die bepalend is voor de redelijke alternatieven/varianten die in het plan-MER nader onderzocht moeten worden, was daarom een absolute voorwaarde om stappen vooruit te kunnen zetten.

Een aantal adviezen, bezwaren en opmerkingen stellen dat voor voorliggend dossier de procedure niet werd gevolgd met betrekking tot communicatie en kennisgeving aan de betrokkenen. Er werd te weinig over deze plannen gecommuniceerd en er werd te weinig concrete informatie gegeven. Alle omwonenden zouden aangeschreven moeten worden. Ook worden vragen gesteld bij het vervolgtraject.

Het voorliggend plan betreft nog maar de eerste stap in de geïntegreerde procedure. Dit betekent dat inspraak en de bekendmaking over de startnota werd georganiseerd volgens de decretaal voorziene stappen. Na de kennisname van de startnota op 29 maart 2019 door de Vlaamse Regering is een raadpleging van het brede publiek georganiseerd, gecombineerd met inspraakmomenten. Aangezien het planvoornemen meerdere gemeenten doorkruist, werden meerdere inspraakmomenten georganiseerd.

De inspraak omvat wettelijk:

- De aankondiging van de terinzagelegging via de voorgeschreven kanalen;
- Een terinzagelegging van het dossier (startnota en procesnota 01 en bijlagen) gedurende 60 dagen. Dit is gebeurd van 29 april 2019 tot en met 27 juni 2019.
- Eén of meerdere inspraakmomenten.

Voor dit planvoornemen werd vooropgesteld om zoveel als mogelijk opmerkingen en suggesties in een vroege fase te verzamelen. Daarom werd een breder communicatie- en inspraaktraject uitgewerkt dan wettelijk voorzien. Dit heeft tot doelstelling dat elke burger en organisatie mee kan nadenken over het planvoornemen en opmerkingen en suggesties kan geven inzake de realisatie van Ventilus.

Naast de wettelijk voorziene stappen werden ook bijkomende communicatiestappen genomen. Meer informatie hierover is terug te vinden in de procesnota.

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen stellen vragen over de rol van de betrokken gemeenten bij voorliggend plan. Deze vragen hebben zowel betrekking op de betrokkenheid van de besturen bij het tot stand komen van deze startnota als bij het vervolgtraject.

De rol van de betrokken besturen is omschreven in de procesnota.

Op 30 januari 2019 werd een eerste info- en inspraakmoment georganiseerd door het Departement Omgeving en Elia waarvoor burgemeesters van de mogelijke betrokken gemeenten werden uitgenodigd. Er werd vooral info over het planvoornemen gegeven en aansluitend vond een eerste bespreking plaats.

Nadien volgde er een meer gedetailleerde voorstelling van de mogelijke corridors en mogelijke postlocaties per groep van gemeenten.

Het planvoornemen werd ook voorgesteld door het Departement Omgeving en Elia aan en besproken met de deputatie van West-Vlaanderen op 14 februari 2019. De administratie ruimtelijke planning en milieu van de provincie West-Vlaanderen was eveneens aanwezig.

Dit betekent dat voorafgaand aan de startnota lokale besturen werden geïnformeerd en betrokken bij dit proces dat op gewestelijk niveau wordt getrokken. De beslissing over de (inhoud van de) startnota werd genomen door de Vlaamse Regering.

De procedure voor de opmaak van een gewestelijk RUP legt ook formeel de rol van de betrokken gemeentebesturen vast. Zij geven formeel advies tijdens de procedure en dit op verschillende momenten. Ze worden om advies gevraagd in het kader van de startnota (voorbije participatieperiode), over het voorontwerp GRUP (plenaire vergadering) en over het ontwerp-GRUP (openbaar onderzoek).

Bijkomend is voor het GRUP Ventilus geopteerd om verschillende stakeholders (waaronder ook de gemeentebesturen) minstens voor het aspect technologie nauwer te betrekken. De manier waarop dit is gebeurd, is omschreven in de procesnota.

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen geven aan dat de periode van inspraak en participatie te vroeg komt omdat de vragen die worden gesteld niet beantwoord kunnen worden. Dit leidt duidelijk tot onbegrip, ongeloof en frustratie bij de betrokken burgers.

Er wordt vastgesteld dat de vragen waar naar verwezen wordt, betrekking hebben op concrete aspecten van het GRUP waar er in deze fase inderdaad geen antwoord op kan worden geformuleerd. Het zijn immers vragen die betrekking hebben op:

- het uiteindelijke traject (op perceelsniveau)
- effecten (gezondheid, landschap, landbouw,…) en mogelijke milderende maatregelen

De participatie die werd georganiseerd, had betrekking op de startnota. Het decreet beschrijft welke onderdelen de startnota moet bevatten (art. 2.2.4., §2): context, doelstelling, reikwijdte, detailleringsgraad, voorziene planonderdelen en te onderzoeken effecten van het voorgenomen plan. Met andere woorden:

- de geografische afbakening
- de beoogde plandoelstelling (een herbestemming naar bedrijventerrein, woongebied, …)
- de juridische context (geldende plannen van aanleg of RUP's)
- de reikwijdte (tot waar strekt het RUP zich uit, wat zijn de gekozen (logische) voorgestelde grenzen van de perimeter)
- de detailleringsgraad of de doorwerking op het terrein:
- de te onderzoeken effecten, waaronder hetzij de aanpak van het plan-MER hetzij de onderbouwing dat geen plan-MER moet worden opgemaakt (screening)

De startnota bevat dus het planvoornemen, mogelijke alternatieven en de manier waarop het (milieu)onderzoek zal worden gevoerd. Dit betekent dat in een startnota nog geen onderzoeksresultaten of een definitieve keuze voor een tracé vervat zit. Dit is het startpunt van de procedure en deze vroege participatie heeft tot doel om op basis van de eerste planopties in dit document met de bevolking tijdens het participatiemoment reeds in discussie te gaan.

Het milieuonderzoek zal worden uitgewerkt eens de definitieve scope van het onderzoek wordt vastgelegd in de scopingnota. Dit milieuonderzoek zal, naast een aantal andere onderzoeken, mee input geven om 1 tracé te kiezen en ruimtelijk te vertalen in een grafisch plan.

Het (ontwerp) plan-MER wordt opgemaakt door MER-deskundigen onder leiding van een erkend, onafhankelijke MER-coördinator (cf. art. 4.2.9 DABM). Parallel aan dit proces zal ook het GRUP vorm krijgen.

Artikel 2.2.10, § 5 van de VCRO bepaalt dat het team MER vóór de definitieve vaststelling van het ruimtelijk uitvoeringsplan de kwaliteit van het planmilieueffectrapport dient te beoordeling. Zij toetst daarbij aan de scopingnota en aan de gegevens die vereist zijn conform artikel 4.2.8, § 1bis van het DABM en houdt rekening met de tijdens het openbaar onderzoek geformuleerde adviezen, opmerkingen en bezwaren.

Artikel 2.2.5, § 1, 8° van de VCRO voorziet verder dat een ruimtelijk uitvoeringsplan onder meer de kwaliteitsbeoordeling door het team MER, alsook een overzicht van de conclusies van de effectbeoordelingen (o.a. het plan-MER), moet bevatten, waarbij aangegeven wordt hoe die geïntegreerd zijn in het plan. Samengevat kunnen opmerkingen en adviezen dus aanleiding geven tot aanpassingen en aanvullingen aan het GRUP en het plan-MER en zal het team MER - vóór de definitieve vaststelling van het GRUP -de kwaliteit van het plan-MER beoordelen.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren vragen of de mogelijke trajecten van de hoogspanningslijn al gekend zijn.

In de startnota is een voorstel van basisalternatief met verschillende varianten opgenomen. Dit betrof ruime zoekzones. Het basisalternatief zoals opgenomen in de startnota is het geheel van projectonderdelen dat bij de opmaak van de startnota, als meest plausibele oplossing beschouwd werd. Het basisalternatief zoals opgenomen in de startnota is in deze scopingnota nu opgenomen onder alternatieven van Kust tot Noord-Brugge en het hoofdalternatief via de E403, zie §6.5.1 en §6.5.2 van de scopingnota.

Na de participatieperiode werden hieraan nog een aantal trajecten bijkomend opgenomen voor verder onderzoek. Hiervoor kan worden verwezen naar de scopingnota waar alle te onderzoeken alternatieven zijn opgenomen.

In de volgende fases zullen de verschillende alternatieve trajecten worden onderzocht (onder meer op milieu-impact) en verder worden verfijnd.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren vragen om het aantal mogelijke geïmpacteerden te kennen en stellen voor om individuele onderzoeken en opvolgingstrajecten op te starten om de betrokkenen te begeleiden rond de impact en compensatie ten gevolge van Ventilus.

In deze fase (van startfase naar scopingfase) is het, gezien het detailniveau van het onderzoek niet mogelijk om het aantal geïmpacteerden te berekenen. Er zijn immers nog geen tracés bepaald maar er wordt nog gewerkt met grote zoekzones . Bovendien worden in deze fase veel alternatieven onderzocht, waarvan er uiteindelijk slechts één planologisch vastgelegd zal worden. Ook is nog geen duidelijkheid voor welke stukken van het traject een ondergrondse lijn een optie is.

In een volgende fase worden de verschillende alternatieven verder verfijnd. Het aantal geïmpacteerden zal in kaart worden gebracht als onderdeel van het te voeren milieuonderzoek. Nadat het milieuonderzoek uitgevoerd is en het GRUP vastgesteld is, is duidelijk wie de precieze betrokkenen zijn.

2. Elementen ruimtelijk uitvoeringsplan

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren geven aan dat de stedenbouwkundige voorschriften gedetailleerder zullen moeten zijn en onder meer aspecten van inplanting van de masten, hoogte van de luchtlijnen, vorm en hoogte van de masten zullen moeten bevatten. Waarom worden deze elementen niet reeds op planniveau bepaald, gezien die elementen zeer bepalend zijn voor de impact die de hoogspanningslijnen op hun omgeving zullen hebben? Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen geven eveneens aan dat bepaalde aspecten zoals het type mast en de plaats van de masten niet zal worden vastgelegd in het GRUP. Wordt niet te veel doorgeschoven naar het projectniveau?

Bij de startnota werd nog geen grafisch plan met bijhorende stedenbouwkundige voorschriften gevoegd. In het grafische plan en de stedenbouwkundige voorschriften worden die elementen verordenend opgenomen die moeten vertaald worden op planniveau. Dit plan met bijhorende voorschriften kan pas worden opgemaakt eens duidelijkheid is over het te volgen tracé (op perceelsniveau) en de (milderende) maatregelen die bijkomend verordenend moeten worden vastgelegd. Dit is op heden nog niet mogelijk.

Bij de opmaak van een gewestelijk RUP wordt uitgegaan van de typevoorschriften (https://www.ruimtelijkeordening.be/nl-nl/typevoorschriften), waar gebiedsspecifieke elementen aan worden toegevoegd. Er zullen ook marges in acht genomen worden om een beperkte flexibiliteit toe te laten bij verdere uitvoering van het project.

Deze voorschriften worden op maat aangevuld, onder meer op basis van het milieu- en ruimtelijk onderzoek. Dit betekent concreet dat de typevoorschriften worden aangepast als dit voor onder meer het realiseren van milderende maatregelen noodzakelijk blijkt. Elementen die betrekking hebben op uitvoeringsaspecten of projectniveau worden normaal niet mee vertaald in de stedenbouwkundige voorschriften, maar zijn onderdeel van een omgevingsvergunning. Indien uit het milieuonderzoek op planniveau blijkt dat het vastleggen van bepaalde van de in de opmerkingen, adviezen en bezwaren aangehaalde aspecten noodzakelijk is, dan zal dit ook op die manier worden vertaald. Dit werd aangevuld in de scopingnota. Op dit moment in de procedure is daar nog geen duidelijkheid over. Ook andere instrumenten zoals een verordening of overeenkomst, kunnen worden gebruikt om bijkomende elementen te regelen en vast te leggen.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen geven aan dat de uitgangspositie van dit GRUP verkeerd is omdat bepaalde alternatieven worden uitgesloten omwille van financiële redenen en

voorgaande studies. Er wordt hierbij gevraagd om alle technische uitvoerbare alternatieven te onderwerpen aan de milieueffectrapportage. Ook wordt in deze opmerkingen verwezen naar het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen waarin zou aangegeven zijn dat alle technische oplossingen in overweging moeten worden genomen.

In deze fase van het plan, voor het bepalen van de scope voor het verdere milieueffectenonderzoek, wordt de economische kostprijs van een bepaalde technologie niet gebruikt als criterium om een bepaald alternatief niet te onderzoeken. De redelijke alternatieven zullen in een volgende stap van het planproces in verschillende effectenbeoordelingen op hun effecten worden onderzocht waaronder ook een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Een overheid dient immers altijd rekening te houden met de maatschappelijke kosten-baten verhouding van plannen en projecten. Dit onderzoek zal samen met de overige effectenbeoordelingen (het plan-MER, RVR) de onderbouwing vormen van de uiteindelijke keuze van het voorkeursalternatief. Dit wordt verder verduidelijkt in de scopingnota.

Het is correct dat in de startnota wordt aangegeven dat bepaalde technologieën duurder zijn dan andere. Dit in hoofdzaak bij de verwijzing naar de technologiestudie die werd uitgevoerd naar aanleiding van de totstandkoming van de startnota. In het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen wordt inderdaad ook verwezen naar technische oplossingen. Zoals eerder in deze nota (procedure) en verder (technologie) wordt aangegeven, werd een dubbelcheck technologie onder leiding van een procesbegeleider doorlopen, juist om dit aspect rond technologische aspecten uit te klaren. Op basis hiervan zijn in de scopingnota alle technisch haalbare alternatieven opgenomen die zullen worden geëvalueerd.

In de volgende stap van het planproces zullen alle redelijke alternatieven onderzocht worden. In de startnota waren reeds meerdere alternatieven of varianten opgenomen. Onder meer op basis van de inspraakreacties en adviezen, besliste het planteam om het alternatievenonderzoek te verruimen (zie §5 en §6 van de scopingnota).

In de startnota werden eveneens reeds een aantal alternatieven uitgesloten, en dit o.b.v. voorafgaand onderzoek. Alternatieven kunnen uitgesloten worden, als deze niet technisch en/of ruimtelijk uitvoerbaar zijn, of als ze niet kunnen voldoen aan de doelstellingen die vooropgesteld worden voor het planvoornemen. Alternatieven die op basis van duidelijke argumenten als niet realistisch kunnen beschouwd worden, bijv. niet realiseerbaar of uitvoerbaar, zijn bijgevolg niet redelijk, en moeten dus niet aan het milieueffectenonderzoek (plan-MER) onderworpen worden.

Zoals in de procesnota is opgenomen, is juist daarom gekozen om een getrapte aanpak te volgen. De “keuze” voor de technologie is bepalend voor de beoordeling van de mogelijke redelijke alternatieven. Daarom werden de technologische mogelijkheden reeds bestudeerd in diverse studies die werden samengevat in en toegevoegd aan de startnota. De technologische mogelijkheden zijn ten gevolge van de inspraak in functie van de scopingnota geherevalueerd op basis van bijkomende studies en de beoordeling daarvan door experten die werden aangesteld door de overheid. Aansluitend werden de bevindingen van de experten besproken met een groep van stakeholders. Op die manier werd duidelijkheid gecreëerd over welke technologische keuzes te beschouwen zijn als redelijke alternatieven/varianten, om vervolgens de ingebrachte alternatieven en varianten te kunnen beoordelen en te verwerken in de voorliggende scopingnota. De ingebrachte alternatieven zijn maximaal opgenomen in de scopingnota voor verder onderzoek, tenzij deze op basis van de resultaten van het onderzoek over de technologie worden uitgesloten of niet aan de plandoelstellingen voldoen.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren merken op dat een deel van het voorbereidend onderzoek Engelstalig is. Dit zou in strijd zijn met artikel 58 van de Bestuurstaalwet.

Het voorbereidend onderzoek waar naar wordt verwezen, betreft de voorstudie Mott MacDonald inzake het technologiegebruik die reeds als bijlage was opgenomen in de startnota en opnieuw wordt hernomen in de scopingnota (bijlage 4).

Artikel 33. § 1 van de bestuurstaalwet bepaalt dat iedere gewestelijke dienst waarvan de werkkring uitsluitend gemeenten zonder speciale regeling uit het Nederlandse of het Franse taalgebied bestrijkt en waarvan de zetel in dat gebied gevestigd is, gebruikt uitsluitend de taal van dat gebied in zijn binnendiensten, in zijn betrekkingen met de diensten waaronder hij ressorteert en in zijn betrekkingen met de andere diensten uit hetzelfde taalgebied en uit Brussel-Hoofdstad. Hij stelt de berichten, mededelingen en formulieren die voor het publiek bestemd zijn uitsluitend in de taal van zijn gebied.

De voorstudie waarnaar wordt verwezen, betreft geen 'mededeling aan het publiek'. Enkel de startnota zelf dient verplicht ter inzage te worden gelegd.

De startnota bundelt alle relevante gegevens uit de voorstudies. De studie van Mott MacDonald over bruikbare technologieën betreft een loutere voorstudie die is opgesteld voorafgaand aan en ter voorbereiding van het planproces. Een gelijkaardige voorbereidende technologiestudie van Elia is wel in het Nederlands opgesteld en als bijlage 12.6.3 gevoegd bij de startnota. Een groep academici heeft een Nederlandstalig advies geformuleerd over de technologiestudie van Elia die ook als bijlage 12.6.4 is gevoegd bij de startnota. De bevindingen van zowel de studie van Mott MacDonald als van de technologiestudie van Elia zijn in bevattelijk Nederlands samengevat op de pagina's 21-26 van de startnota. Aangezien de bevindingen van de studie van Mott MacDonald op bevattelijke wijze zijn samengevat in de Nederlandse tekst van de startnota, is de eigenlijke Engelstalige studie louter ter informatie gevoegd bij de startnota zonder dat het essentiële informatie betreft die onontbeerlijk is om de startnota te kunnen begrijpen.

Er moet dan ook besloten worden dat de startnota de deelnemers aan de publieke raadpleging hierover voldoende in staat heeft gesteld om te begrijpen welke bruikbare technologieën naar voor werden geschoven en waarom dit zo is, zodat deze in de mogelijkheid waren om in het kader van de participatie over de startnota een reactie op de inhoud ervan te geven.

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen geven aan dat voorliggend dossier reeds een uitgewerkte plan-MER moet bevatten.

De startnota bevat dus het planvoornemen, mogelijke alternatieven en de manier waarop het (milieu)onderzoek zal worden gevoerd. Dit betekent dat in een startnota nog geen onderzoeksresultaten of een definitieve keuze voor een tracé vervat zit. Dit is het startpunt van de procedure en deze vroege participatie heeft tot doel om op basis van de eerste planopties in dit document met de bevolking tijdens het participatiemoment reeds in discussie te gaan.

Het milieueffectenonderzoek zal worden uitgewerkt eens de definitieve scope van het onderzoek wordt vastgelegd in de scopingnota. Dit milieueffectenonderzoek zal, naast een aantal andere onderzoeken, mee input geven om 1 tracé te kiezen en ruimtelijk te vertalen in een grafisch plan.

Een uitwerkte plan-MER op planniveau is decretaal verplicht bij de voorlopige vaststelling van het GRUP. In deze fase bevindt voorliggend dossier zich nog niet. Dit is conform het decreet van 1 juli 2016 tot wijziging van de regelgeving voor ruimtelijke uitvoeringsplannen teneinde de

planmilieueffectrapportage en andere effectbeoordelingen in het planningsproces voor ruimtelijke uitvoeringsplannen te integreren door wijziging van diverse decreten.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren stellen dat de plicht om de vastgestelde problemen te 'tackelen' niet beperkt is tot de zuiver ruimtelijke aspecten maar dat bijvoorbeeld natuurcompensatie hier ook een deel van uit maakt. Er wordt gewezen op de verplichting om de eventueel milderende maatregelen uit de plan-MER op planniveau mee te vertalen en vast te leggen. Ook wordt gewezen op instrumenten die samen met het GRUP kunnen worden ingezet.

Het gewestelijk RUP zal het totaalpakket bevatten van wat ruimtelijk vertaald/bestemd moet worden vanuit de betreffende regelgeving en effectbeoordelingen. Het aanduiden van natuurcompensatie zou daar een voorbeeld van kunnen zijn indien dit noodzakelijk blijkt uit de effectbeoordeling (milderende maatregelen). Ook zullen indien nodig of wenselijk de nodige andere instrumenten ingezet worden.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren geven aan dat de Vlaamse overheid zich dient te houden aan het zorgvuldigheidsbeginsel.

Het zorgvuldigheidsbeginsel, als algemeen beginsel van behoorlijk bestuur, houdt in dat het bestuur zijn beslissing op zorgvuldige wijze moet voorbereiden. Dit impliceert dat de beslissing dient te steunen op werkelijk bestaande en concrete feiten die met de vereiste zorgvuldigheid werden vastgesteld. De zorgvuldigheid verplicht de overheid onder meer om zorgvuldig te werk te gaan bij de voorbereiding van de beslissing en ervoor te zorgen dat de feitelijke en juridische aspecten van het dossier deugdelijk onderzocht worden, zodat de overheid met kennis van zaken kan beslissen (zie bijvoorbeeld Raad van State van 22 november 2012, nr. 221.475, De Wolf; Raad van State van 21 januari 2014, nr. 226.148, Hermans). Op dit moment zitten we in de fase van de scopingnota. Hierin worden de plandoelstellingen en het planvoornemen en de manier waarop het onderzoek zal worden gevoerd vastgelegd. In de procesnota staan verschillende onderzoekstrajecten beschreven die, naast het ruimtelijke en het milieuonderzoek, mee input zullen moeten geven aan de uiteindelijke beslissing van de Vlaamse Regering. In de procesnota wordt hierbij ook de aanpak van de verschillende onderzoeken en het verder verloop van de procedure beschreven. Het zorgvuldigheidsbeginsel zal dus als algemeen beginsel van behoorlijk bestuur worden gerespecteerd.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt de vraag gesteld waarom er nog vergunningen afgeleverd worden voor projecten die binnen de zoekzones liggen. Tussen de vaststelling van het GRUP en de omgevingsaanvraag van het Ventilusproject, kan het Ventilusproject gehypothekeerd worden door andere omgevingsvergunningsaanvragen en omgekeerd.

De Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening stelt in artikel 4.3.1 onder meer dat een vergunning kan worden geweigerd als het aangevraagde onverenigbaar is met de stedenbouwkundige voorschriften. Dit impliceert een (in voorliggend geval) door de Vlaamse Regering goedgekeurd ruimtelijk uitvoeringsplan met bijhorende stedenbouwkundige voorschriften. In artikel 4.3.2 wordt hieraan toegevoegd dat een vergunning ook kan worden geweigerd indien de aanvraag onverenigbaar is met een voorlopig vastgesteld ontwerp van ruimtelijk uitvoeringsplan of van bijzonder plan van aanleg. Dit impliceert een (in voorliggend geval) door de Vlaamse Regering voorlopig vastgesteld ruimtelijk uitvoeringsplan.

Het GRUP Ventilus bevindt zich nog maar in de scopingfase. Dit is met andere woorden geen rechtsgrond om een omgevingsvergunning te weigeren.

Eens het GRUP voorlopig en/of definitief is vastgesteld, kan het GRUP worden gebruikt als een weigeringsgrond voor omgevingsvergunningsaanvragen.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen geven aan dat de VCRO bepaalt dat de startnota een overzicht moet geven van instrumenten die samen met het voorgenomen ruimtelijk uitvoeringsplan ingezet kunnen worden, als die al bekend zijn in deze fase.

Dit is correct. De gekende instrumenten waren in de startnota, op moment van vaststelling, opgenomen onder reikwijdte van het plan. In de scopingnota is dit aspect verder aangevuld.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen stellen in vraag dat het gebruik van de bestaande infrastructuren van de hoogspanningsluchtlijnen(150KV) voor de nieuwe hoogspanningsluchtlijnen(380KV) beschouwd wordt als een vergunde situatie. Volgens de milieuwetgeving moet elke inrichting die met meer dan 100% uitbreidt in capaciteit of vermogen opnieuw vergund worden (van 150KV naar 380KV is meer dan een verdubbeling). De magnetische velden worden zelfs 10 keer sterker. Bovendien wil men de 380kV bovengrondse luchtlijn bundelen met een 150KV ondergrondse leiding wat het effect alleen maar zal versterken en over een grotere breedte uitsmeren.

Het gebruik van de bestaande infrastructuren van de hoogspanningsluchtlijnen(150kV) voor de nieuwe hoogspanningsluchtlijnen (380kV) wordt niet beschouwd als een vergunde situatie.

Een GRUP geldt niet als een vergunningsprocedure. Het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan Ventilus behoort tot het planniveau, het vergunningstraject en eventueel effectenonderzoek van een vergunning voor een inrichting behoort tot het projectniveau. De keuzes en vaststellingen gemaakt binnen dit GRUP kunnen echter wel leiden tot de opstart van een vergunningstraject.

Voor de bouw/grondige aanpassing van een hoogspanningslijn zijn onder meer een (Vlaamse) omgevingsvergunning voor stedenbouwkundige handelingen en een (federale) Wegvergunning nodig. Een hoogspanningslijn is geen ingedeelde inrichting of activiteit. Er zal een omgevingsvergunning voor stedenbouwkundige handelingen aangevraagd worden. Er zal een nieuwe Wegvergunning aangevraagd worden bij een spanningswijziging.

De mogelijke effecten naar mens en milieu zullen in de milieueffectrapportages onderzocht worden.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt verwezen naar het basisalternatief dat voor de verbinding tussen Torhout en Ardooie een nieuwe bovengrondse hoogspanningsverbinding voorziet die te bundelen is met de E403. Om het 'stand still'-principe uit het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen te kunnen toepassen, moet hiervoor op een andere plaats een bestaande bovengrondse verbinding ondergronds gebracht worden

- **Voorzien van een luchtlijn langs de E403 staat haaks op de doelstelling van het stand still principe.**
- **De afweging voor het enerzijds ondergronds brengen van een bestaand tracé en het anderzijds toevoegen van een nieuw bovengronds tracé moet beter gemotiveerd worden.**

Artikel 2.1.2, § 3 van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening (hierna: de "*VCRO*") bepaalt omtrent het richtinggevend gedeelte van het RSV (zolang het RSV niet is vervangen voor het Beleidsplan Ruimtelijk Vlaanderen (hierna: het "*BRV*"))[1] het volgende:

> "*Het richtinggevend gedeelte van een ruimtelijk structuurplan is het deel van het ruimtelijk structuurplan waarvan een overheid bij het nemen van beslissingen niet mag afwijken, tenzij omwille van onvoorziene ontwikkelingen van de ruimtelijke behoeften van de verschillende maatschappelijke activiteiten of omwille van dringende sociale, economische of budgettaire redenen. De uitzonderingsgronden voor een afwijking worden uitgebreid gemotiveerd. Ze mogen in geen geval een aanleiding zijn om de duurzame ruimtelijke ontwikkeling, de ruimtelijke draagkracht en de ruimtelijke kwaliteit van welk gebied ook in het gedrang te brengen. Onverminderd voormelde uitzonderingsgronden wordt tevens van het richtinggevend gedeelte van een gemeentelijk ruimtelijk structuurplan afgeweken indien zulks genoodzaakt wordt door maatregelen die vereist zijn voor de verwezenlijking van het bindend sociaal objectief, vermeld in artikel 4.1.2 van het decreet van 27 maart 2009 betreffende het grond- en pandenbeleid*".

Het richtinggevend gedeelte van het RSV bepaalt omtrent de elektriciteitsleidingen onder meer hetgeen volgt:

> "***7.2.2. Bundeling van pijpleidingen en elektriciteitsleidingen met lijninfrastructuren van Vlaams niveau***
> *In functie van een efficiënt ruimtegebruik en om te verhinderen dat de toename van pijpleidingen en elektriciteitsleidingen de onbebouwde ruimte verder versnippert, de ruimtelijke kwaliteit vermindert en tot aantasting van het fysisch systeem en het ecologisch functioneren leidt, wordt voor de toekomstige ontwikkeling een maximale bundeling met lijninfrastructuren van Vlaams niveau vooropgesteld, zonder dat het bundelingsprincipe de verdere ontwikkeling van de warmtekrachtkoppeling in het gedrang brengt.*
> *(…)*
> ***Bundelen van hoogspanningsleidingen met lijninfrastructuur en het bestaand net***
> *In functie van een efficiënt ruimtegebruik en om te verhinderen dat de bouw van hoogspanningsleidingen, zowel ondergronds als bovengronds, de ruimtelijke kwaliteit vermindert en tot aantasting van het fysisch systeem en het ecologisch functioneren leidt, wordt voor de toekomstige ontwikkeling een nuttige bundeling met lijninfrastructuren van Vlaams niveau vooropgesteld, zonder dat het bundelingsprincipe de verdere ontwikkeling van het hoogspanningsnet in het gedrang brengt.*
> *De mogelijke negatieve ruimtelijke effecten van ondergrondse hoogspanningsleidingen doen zich vooral voor tijdens de aanleg. Het grootste deel van de installaties is ondergronds (moffenkamers, geïsoleerde geleiders, e.d.). Toch zijn er een aantal blijvende effecten. Niet alleen de gebruikswaarde van de strook rond de ondergrondse hoogspanningsleiding is*

[1] Hoewel de structuurplannen worden vervangen door beleidsplannen en de bepalingen inzake de beleidsplanning inmiddels in werking zijn getreden, is er een overgangsregeling voorzien die bepaalt dat het RSV van kracht blijft tot het wordt vervangen door het BRV. Ook de bepalingen die de verhouding tussen het RSV en ruimtelijke uitvoeringsplannen regelen, blijven zolang van kracht (art. 214 Codextrein).

gewijzigd (niet eender welke begroeiing is mogelijk), er dienen eveneens veiligheidsvoorschriften in acht genomen te worden.
In functie van de technische beperkingen worden ondergrondse hoogspanningsleidingen zoveel mogelijk aangelegd in leidingstroken en gebundeld met lijninfrastructuren van lokaal of bovenlokaal niveau, voor zover dit juridisch realiseerbaar is. Volgende principes staan daarbij voorop:

- *de totale lengte van het bovengronds net wordt niet uitgebreid ('stand still'-principe);*
- *de aan te leggen ondergrondse hoogspanningsleiding verhindert het functioneren en de ontwikkelingsmogelijkheden van de bestaande lijninfrastructuur waarmee gebundeld wordt, niet ;*
- *de bundeling houdt in dat de nieuwe leiding zo dicht als mogelijk en rekening houdend met de wettelijke beperkingen ter zake bij de bestaande lijninfrastructuur wordt aangelegd;*
- *voor de toepassing van de bundeling worden alle technische oplossingen in overweging genomen;*
- *de toepassing van het bundelingsprincipe gebeurt binnen de wettelijke voorschriften en veiligheidsnormen en binnen het BATNEEC principe.*

Voor het bundelen van hoogspanningsleidingen met lijninfrastructuur en het bestaande hoogspanningsnet wordt rekening gehouden met de behoeften erkend in het Investeringsplan en het Ontwikkelingsplan uit de federale en Vlaamse gewestelijke wetgeving. De draagstructuren of de tracés van bestaande bovengrondse hoogspanningsleidingen komen bij voorrang in aanmerking voor het aanbrengen van bijkomende elektrische geleiders, indien zij daarvoor ontworpen zijn"[2] (eigen onderlijning).

Het bundelingsprincipe en het standstill principe zijn principes die, in uitvoering van het RSV, worden toegepast voor Ventilus. Het standstill principe waar naar wordt verwezen, betreft het principe dat de totale lengte van het bovengrondse hoogspanningsnet in Vlaanderen niet uitgebreid wordt ten opzichte van de situatie bij de goedkeuring van het RSV in 1997. De bouw van een nieuwe hoogspanningslijn in Vlaanderen kan dus (behoudens een afwijking van het richtinggevende deel) enkel wanneer er elders in Vlaanderen reeds minimaal deze lengte hoogspanningslijn afgebroken werd of zal worden. Sinds 1997 nam het bovengrondse hoogspanningsnetwerk in Vlaanderen netto af met 229km.

Tabel 1overzicht lengte bovengrondse hoogspanningslijnen per spanningsniveau en per beheerder (TSO = transmissienetbeheer/ DSO = distributienetbeheer)

Spanningsniveau	1997	2020	wijziging
380kV-lijn TSO	498	500	2
150kV-lijn TSO	1281	1206	-75
70kV-lijn TSO	972	826	-146
70kV-lijn DSOs	156	156	0
36kV-lijn TSO	8	8	0
36kV-lijn DSOs	80	70	-10

[2] Gecoördineerde versie RSV 2011, p. 402-403.

	2995	**2766**	**-229**

Binnen de uitgebreide zoekzone voor de 380kV-lijnen bevinden zich een aantal 150kV- en 70kV-lijnen. In eerste instantie wordt nagegaan of deze reeds voorzien zijn om gebruikt te kunnen worden voor het (bij)plaatsen van geleiders voor een 380kV-verbinding. Waar dit geen mogelijkheid is, geniet een bundeling met bestaande 150kV-lijnen (of andere belangrijke lijninfrastructuren) de voorkeur boven de realisatie van nieuwe luchtlijnen die nergens mee bundelen (zie hoger). Om het principe van een dergelijke bundeling te combineren met het stand stillprincipe wordt, gezien het mogelijk is om 150kV-verbindingen ondergronds aan te leggen, uitgegaan van een hergebruik van de tracés van de 150kV-lijnen waarbij de 150kV-lijnen zelf vervangen zullen worden door 150kV-kabelverbindingen.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 van de scopingnota 'Ruimtelijke principes'.

Bij de voorlopige vaststelling van het plan zal getoetst worden of het standstill principe gerespecteerd is.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren vragen om het principe, dat het bovengrondse net niet mag uitgebreid worden, te gebruiken. De uitbreiding van het net kan enkel door te bundelen met bestaande infrastructuur of door ondergronds aan te leggen. Er wordt ook gevraagd om geen nieuwe lijn te voorzien waar er niet kan gebundeld worden met snelwegen of kanalen.

Binnen het planproces worden een aantal ruimtelijke principes gehanteerd. Het bundelingsprincipe en het standstill principe zijn principes die, in uitvoering van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, worden toegepast voor Ventilus.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid in hoofdstuk 5 van de scopingnota.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen vragen om te zorgen dat de lijnen (boven of ondergronds) zo ver mogelijk verwijderd liggen van bestaande woningen.

Het Departement Omgeving organiseerde in 2010 een consultatietraject met wetenschappers en stakeholders over het omgaan met de milieu-en gezondheidsrisico´s van hoogspanningslijnen. Dat traject heeft geleid tot een aantal aanbevelingen die gebaseerd zijn op voorzorg en tot doel hebben om blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen te verminderen. De Vlaamse Regering heeft, rekening houdend met de conclusies van het consultatietraject en de bezorgdheid van de inwoners die onder een nieuwe hoogspanningslijn zouden komen te liggen, een aantal aanbevelingen gemaakt in haar mededeling van 1 juni 2012, waaronder:

- Het overspannen van bestaande gevoelige functies[3] bij nieuwe hoogspanningslijnen tot een minimum beperken. De Vlaamse overheid zorgt ervoor om bij voorkeur geen bestaande gevoelige functies te overspannen bij nieuwe hoogspanningslijnen en om zo weinig mogelijk woningen / onbebouwde woonpercelen te overspannen.

[3] Met "gevoelige functies" wordt bedoeld scholen en kinderopvangvoorzieningen (buitenschoolse opvang verbonden aan een kinderdagverblijf, crèche, initiatief buitenschoolse opvang, lokale dienst – buitenschoolse opvang, lokale dienst – voorschoolse opvang, onthaalouders, peutertuin, zelfstandig kinderdagverblijf en zelfstandig onthaalouder).

- Geen nieuwe gevoelige functies plaatsen in de magneetveldzone van bestaande hoogspanningslijnen.
- Er wordt een compensatie voorzien van de waardevermindering van woningen en een opkoopregeling van de woningen in de zone met gebruiksbeperkingen ter hoogte van de nieuwe bovengrondse lijnen. Deze maatregel was niet geïnspireerd vanuit het voorzorgsprincipe omwille van de gezondheid maar was gericht op de verminderde maatschappelijke acceptatie om bovengrondse lijnen boven of in directe nabijheid van woningen te laten lopen .

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.1.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen vragen om maximaal het bestaande tracé te gebruiken.

Het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (RSV) stelt dat de draagstructuren of de tracés van bestaande bovengrondse hoogspanningsleidingen bij voorkeur in aanmerking komen voor het aanbrengen van bijkomende elektrische geleiders, indien zij daarvoor ontworpen zijn. Dit betekent dat het hergebruiken van bestaande tracés volgens het RSV voorrang krijgt op het realiseren van nieuwe tracés. Bij de voorkomende 70 kV en 150 kV-lijnen kan het tracé herbenut worden door de bestaande lijn ondergronds te brengen (zo veel mogelijk in openbaar domein). Daarna wordt het huidige bovengrondse tracé van de bestaande lijn herbenut voor het realiseren van de nieuwe (380 kV) hoogspanningslijn. Meer uitleg omtrent de toepassing van de ruimtelijke principes uit het RSV is terug te vinden in hoofdstuk 5 ‘Ruimtelijke principes’ van de scopingnota.

Er dient compensatie te worden voorzien als er voorziene of geplande bedrijventerreinen worden ingenomen voor de hoogspanningsstations.

Deze opmerking wordt beschouwd als een vraag naar planologische compensatie voor de eventuele inname van bestemd bedrijventerrein. Vragen over financiële compensaties gekoppeld aan het gewestelijk RUP Ventilus zijn terug te vinden in voorliggende antwoordnota in het hoofdstuk over waardeverlies en vergoedingen.

Het eventuele ruimtebeslag van bedrijventerreinen (en de ruimte door een hoogspanningsstation niet langer voor bedrijvigheid in aanmerking komt) zal mee beschouwd worden in het onderzoek. Dit vormt een onderdeel van de discipline mens – ruimte.

Met voorliggend initiatief zal echter niet voorzien worden in het planologische compensatie van oppervlakte aan bedrijventerrein dat mogelijks herbestemd zal worden.

3. Onteigeningen

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen geven aan dat onteigeningen zo veel als mogelijk moeten vermeden worden; al was het maar om vertraging van het project te vermijden.

In antwoord hierop kan gesteld worden dat het niet de bedoeling is om aan het GRUP Ventilus een onteigeningsplan te koppelen. Elia beschikt als netbeheerder reeds over een onteigeningsrecht op grond van artikel 11bis van de wet van 29 april betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt voor de infrastructuur met een spanningsniveau boven 70 kV, zoals Ventilus. De uitoefening van dit

recht is afhankelijk gesteld van het beschikken (door de netbeheerder) over een koninklijk besluit van openbaar nut.

In de praktijk maakt Elia zo weinig mogelijk gebruik van deze mogelijkheid door te streven naar een minnelijke verwerving of door regelingen via compensaties voor de eventuele nadelen die voortkomen door de werken.

4. Nut van het project

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt de nood aangegeven aan een energietransitieplan op Vlaams niveau. Momenteel kan niet ingeschat worden hoe dit project in die transitie kadert. Dit is noodzakelijk om tot een geïnformeerde beslissing te komen.

Europa wil tegen 2050 klimaatneutraal zijn. Dit vergt een grootschalige elektrificatie van zijn energiesysteem, gekoppeld aan een uitbreiding van de capaciteit voor hernieuwbare energie. Verwacht wordt dat de vraag naar elektriciteit tegen 2050 twee- tot verdrievoudigd zal zijn. De Europese Commissie verwacht dat het elektrificatiepercentage zal stijgen van 24% nu tot ten minste 50% in 2050, naarmate vervoer, industrie en verwarming overschakelen van fossiele brandstoffen op hernieuwbare energiebronnen. Het energietransitieplan van Vlaanderen werd geïntegreerd in het Nationaal Energie- en Klimaatplan 2021-2030 van de verschillende overheden in België en werd eind 2019 ter beoordeling aan de Europese Commissie werd voorgelegd. In deze plannen werd de maatschappelijk keuze voor een toename aan hernieuwbare elektriciteitsproductie bevestigd, zowel op zee als op land.

Elektriciteitsnetten spelen hierbij een sleutelrol. Het elektriciteitsnetwerk van de toekomst veronderstelt de integratie van steeds grotere hoeveelheden hernieuwbare energieproductie, transmissie over lange afstand én binnen een Europese context. Door de veranderende context van de energietransitie evolueert de ontwikkeling van het elektriciteitsnet van ‘reactief’ naar ‘proactief’. Vandaag bepaalt het elektriciteitsnet de snelheid waarmee de transitie zich voltrekt. De ontwikkeling van nieuwe grote netinfrastructuur duurt immers veel langer (gemiddeld 10 jaar) dan de bouw van hernieuwbare energieproductie (ca. 4 tot 5 jaar). Verwachte bottlenecks en missing links moeten versneld worden geïdentificeerd en aangepakt. Enkel zo krijgt de energietransitie maximale kansen om zich waar te maken. Als transmissienetbeheerder heeft Elia de wettelijke verplichting om het transmissienet te plannen en uit te bouwen. Het Federaal Ontwikkelingsplan (FOP) 2020-2030 identificeert de behoeften aan transmissiecapaciteit van het Belgische hoogspanningsnet (110 tot 380 kV) in de periode tussen 2020 en 2030 en beschrijft het gepaste investeringsprogramma om daaraan tegemoet te komen. Concreet omvat het investeringsprogramma van het FOP 2020-2030 projecten die zowel het interne elektriciteitsnet versterken en uitbreiden, de integratie van bijkomende offshore windproductie mogelijk maken als internationale elektriciteitsuitwisseling bevorderen via versterking en uitbreiding van de interconnectiecapaciteit. Het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 baseert zich op een aantal scenario’s om de noden voor de toekomstige netinfrastructuur te bepalen. Dit heeft geleid tot de opmaak van een investeringsprogramma dat robuust is voor alle mogelijke toekomstige situaties. Het federaal ontwikkelingsplan 2020-2030 voor het transmissienet stelt uitdrukkelijk de realisatie van het project Ventilus in het vooruitzicht.

De opmaak van het FOP gebeurde in samenwerking met de Algemene Directie Energie en het Federaal Planbureau. Het Ontwikkelingsplan 2020 - 2030 vormt het sluitstuk van een consultatieprocedure waarbij de federale regulator (CREG) betrokken werd, alsook de minister bevoegd voor het Mariene Milieu, de gewestelijke overheden en de Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling.

Het Ontwikkelingsplan en de daaraan verbonden strategische milieubeoordeling werden voor raadpleging voorgelegd aan het publiek. Deze raadplegingsprocedure liep van 15 oktober tot 15 december 2018, conform de wettelijke vereisten.

De finale versie van het Ontwikkelingsplan 2020 - 2030 werd goedgekeurd door de Belgische minister bevoegd voor Energie, op 26 April 2019.

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen maken bedenkingen bij de maatschappelijke kosten en baten van dit project. Er wordt onder meer gevraagd om de gezondheidskosten mee in rekening te brengen en de meerkost in referendum voor te leggen aan de gemeenten.

Er zal een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA) worden opgesteld. Gezondheid zal een deel van deze analyse uitmaken. Die analyse is één van de onderzoeken waarop de uiteindelijke beslissing van de Vlaamse Regering gebaseerd zal zijn.

De MKBA zal een bijlage vormen bij het gewestelijk RUP. Over dit gewestelijk RUP zullen de betrokken gemeenten, zoals procedureel voorzien, advies kunnen geven. Een referendum is een procedurestap die niet in het kader van een gewestelijk RUP is voorzien.

5. Rol van Elia

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren geven aan dat er nood is aan advies van onafhankelijke experten en vragen om Elia uit toekomstige onderzoeken te houden binnen het planproces.

In antwoord hierop kan worden aangegeven dat de rol van Elia in de procesnota is omschreven en werd gekaderd binnen het globale proces. Het beoogde GRUP moet immers de nodige planologische basis bieden voor het project Ventilus met het oog op de noodzakelijke vermazing van het hoogspanningsnetwerk in West-Vlaanderen. Het federaal ontwikkelingsplan 2020-2030 voor het transmissienet, dat is goedgekeurd door de federale Minister van Energie, stelt uitdrukkelijk de realisatie van het project Ventilus in het vooruitzicht. Als Belgische transmissienetbeheerder komt het aan Elia toe om het federaal ontwikkelingsplan uit te voeren. Het GRUP Ventilus kadert dan ook in de taken van algemeen belang die op Elia rusten om een zeker, betrouwbaar en doeltreffend hoogspanningsnetwerk te verwezenlijken en bij te dragen tot de energiebevoorradingszekerheid. De Vlaamse overheid is dan weer bevoegd voor de opmaak van het GRUP Ventilus.

De Vlaamse overheid en Elia hebben elk een eigen specifieke rol bij de opmaak van het GRUP Ventilus.

De Vlaamse overheid, in het bijzonder het Departement Omgeving, stuurt het planteam aan dat instaat voor de voorbereiding en opmaak van het beoogde GRUP. Het Departement Omgeving treedt op als vertegenwoordiger van de Vlaamse Regering die de bevoegde overheid is om het GRUP uiteindelijk vast te stellen. De ruimtelijk planner binnen het planteam behoort ook tot het Departement Omgeving.

Het planteam is de motor van het planproces. Het voert het geïntegreerde planningsproces, begeleidt de verschillende onderzoeken, integreert de tussentijdse resultaten in het planningsproces en zorgt voor een continue kwaliteitsbewaking. Het planteam maakt per fase de verschillende documenten zoals een startnota, scopingnota, voorontwerp en ontwerp GRUP op en bereidt de beslissingen van de Vlaamse Regering voor. Het planteam organiseert ook het inspraakmoment over de startnota en het openbaar onderzoek en verwerkt de ontvangen opmerkingen en bezwaren en maakt er een verslag van op.

Als belangrijkste partner in het planteam is het Departement Omgeving ook het officiële aanspreekpunt voor het brede publiek, in het bijzonder tijdens de inspraak over de startnota en tijdens het openbaar onderzoek over het ontwerp-GRUP.

Elia is als Belgische transmissienetbeheerder een belangrijke actor bij de opmaak van het GRUP voor dit project. Elia is een privaat bedrijf met taken van algemeen belang die gecontroleerd worden door publieke instanties. Specifiek dient Elia het vermogen van het transmissienet op lange termijn te waarborgen en te voldoen aan redelijke aanvragen voor de transmissie van elektriciteit door het uitbaten, onderhouden en ontwikkelen, onder economisch aanvaardbare voorwaarden, van een zeker, betrouwbaar en doeltreffend transmissienet, mits het wijden van alle vereiste aandacht aan de eerbied voor het leefmilieu[4]. De federale minister voor energie keurt het ontwikkelingsplan voor het zeer hoge spanningsnetwerk (150-380kV) goed. De federale regulator voor energie, de CREG, keurt onder meer de budgetten goed die worden aangewend voor het vervullen van deze taken en de billijke winstmarge[5] voor de transmissienetbeheerder. De vertaling daarvan in de tarieven voor het transport van elektriciteit die worden aangerekend aan alle Belgisch eindverbruikers gebeurt overeenkomstig een door de CREG vierjaarlijks vastgestelde tariefmethodologie en tariefbeslissing[6].

Vanuit haar taken van algemeen belang, hier specifiek de ontwikkeling en uitbating van het hoogspanningsnet, informeert Elia de Vlaamse overheid over de technische aangelegenheden die met de realisatie van Ventilus te maken hebben.

Als enige beheerder van het Belgische transmissienet beschikt Elia ook over specifieke technische kennis over de ontwikkeling, het beheer en de uitbating van hoogspanningsnetwerken die noodzakelijk is om met voldoende kennis van zaken beslissingen te nemen over het beoogde GRUP. Input van Elia aan de Vlaamse overheid is dan ook essentieel om het GRUP Ventilus te kunnen opmaken. Er wordt dan ook zoveel als nodig overlegd tussen het planteam en Elia. In haar hoedanigheid van betrokken actor staat Elia het planteam ook bij tijdens de inspraakmomenten met het brede publiek. De ambtelijke samenstelling en centrale rol van het planteam en de onafhankelijkheid van de MER-coördinator en de MER-deskundigen garanderen daarbij de onafhankelijke en neutrale uitwerking van het plan-MER en het GRUP. De input van Elia is daarbij uiteraard onderworpen aan de controle van de betrokken deskundigen.

Bovendien staat in de handleiding over het geïntegreerd planningsproces van het departement Omgeving (https://www.milieuinfo.be/confluence/display/planmerrup/Stap+0%3A+Voorbereidende+fase) … wordt de rol en samenstelling van het planteam al volgt omschreven: "*Externe experten of rechtstreeks belanghebbende actoren (zoals de bevoegde schepen, de burgemeester, een afgevaardigde van een wijkcomité,...) kunnen in principe deel uitmaken van het planteam. Belangrijk (deontologisch) is echter dat er een ambtelijke 'kern' in het planteam aanwezig is die het algemeen belang en de 'neutraliteit' blijft garanderen. Dikwijls is dat de bevoegde ambtenaar voor ruimtelijke ordening, omgeving, RUP's, Stedenbouw....Het planteam kan ook een bevoorrechte relatie uitbouwen met bepaalde 'actoren', zonder deze formeel op te nemen in het planteam. Dit zijn personen (hoofdelijk, rechtspersonen of minder formele groeperingen zoals wijkcomités, lokale actiegroepen,..) die sterk moeten betrokken worden bij de opmaak van het RUP omdat ze een sterk belang hebben binnen de planperimeter of cruciaal zijn voor de realisatie op het terrein. Het is wel belangrijk de voorziene samenstelling van het planteam (en die kan wisselen in de tijd) en de toegevoegde actoren te omschrijven in de procesnota,*

[4] Artikel 8 van de wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt.
[5] De billijke winstmarge is de vergoeding die de netbeheerder krijgt voor de investering van het eigen vermogen en die wordt berekend, overeenkomstig een vaste formule rekening houdend met de lange termijn rente, op 40% van de regulated asset base. De regulated asset base vertegenwoordigt de waarde van alle in dienst genomen investeringen. Deze waarde varieert onder meer op basis van de afschrijvingen van de investeringen en bijkomende indienstnames. De billijke winstmarge wordt aangevuld met enkele incentives die door de regulator worden opgelegd.
[6] Beschikbaar op de website van de CREG: www.creg.be

en aan te duiden welke bijkomende experten, 'bevoorrechte' actoren,… betrokken worden en waarom." De rol die Elia in dit proces vervult, is opgenomen in de procesnota.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt aangegeven dat als men de startnota doorleest, men vaststelt dat Elia geen moeite onderneemt om moderne transporttechnieken voor hoogspanning verder te onderzoeken met als hoofdargument de kostprijs. Nochtans zijn dergelijke installaties wel al in gebruik in het buitenland met het nodige maatschappelijk draagvlak van de inwoners rond dergelijk type installatie.

Het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan wordt opgemaakt door het planteam en niet door Elia. De taakverdeling tussen beiden is opgenomen in de procesnota.

Wat betreft de transporttechnieken wordt verwezen naar de procesnota waarin wordt aangegeven dat een tussenstap werd ingebouwd om het bestaande en nieuwe onderzoek rond verschillende technologische aspecten te 'dubbelchecken'. De resultaten hiervan zijn opgenomen in de scopingnota en de paragrafen in deze antwoordnota die handelen over techniek.

Wat betreft de kostprijs moet ook worden verwezen naar de eerdere opmerking dat deze op geen enkele wijze meespeelt bij de beoordeling van de mogelijke technieken door het planteam.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt gesteld dat Elia ingaat tegen het bundelingsprincipe door dwars door Groot-Zedelgem -een groene leefzone- een hoogspanningstraject te willen bouwen.

Hierop kan worden aangegeven dat het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan wordt opgemaakt door het planteam en niet door Elia. De taakverdeling tussen beiden is opgenomen in de procesnota. Het bundelingsprincipe is één van de principes dat, in uitvoering van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, wordt toegepast voor Ventilus.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 van de scopingnota.

Ten opzichte van de startnota werd een nieuwe corridor toegevoegd waarbinnen een alternatief via de E40/E403 (variant via Oostkamp) verder zal onderzocht worden, zie §6.5.2 van de scopingnota.

Technologie

Voor verschillende aspecten rond technologie is geopteerd om een dubbelcheck uit te voeren (zie bijlage 4 van de scopingnota). De manier waarop en met wie deze dubbelcheck werd uitgevoerd, is opgenomen in de procesnota. In de procesnota is ook ingegaan op de aanstelling van een Intendant en zijn conclusies met betrekking tot technologie.

Voor een goed begrip van voorliggende nota hernemen we hieronder de belangrijkste vaststellingen die door de experten die werden aangesteld door het planteam, werden gedaan. Deze vaststellingen vormen de basis voor het verdere onderzoek in de scopingnota. In de verschillende antwoorden op de inspraakreacties zal hier naar verwezen worden.

Behoefte aan transportcapaciteit van 6 GW

De experten stellen gezamenlijk dat een verdere versterking van het elektriciteitsnet tot een capaciteit van 6 GW is vereist om een sterk net uit te bouwen op land, dat de stijgende nood aan onthaalcapaciteit aan de kust kan opvangen. De stijgende nood wordt voornamelijk gedreven door de tweede productiezone voor offshore windparken en de plannen voor een bijkomende interconnectie met een buurland. Een Ventilus-verbinding met een transportcapaciteit van 2 tot 3 GW is ontoereikend om de correcte werking van het vermaasde elektriciteitsnet te garanderen. Een incident of tijdelijke uitval (situatie N-1) van één draadstel zou tot netwerkproblemen en afschakeling kunnen leiden. Bovendien is het de verwachting dat offshore wind significant zal toenemen in de komende decennia (met voorspellingen die gaan van 100 tot 200 GW offshore wind tegen 2050 in de Noordzee). Een verbinding van 2-3 GW is onvoldoende voor de middellange termijn.

De geplande Ventilus verbinding zal deel uitmaken van de ruggengraat (380kV) van het Belgische en Europese elektriciteitsnet. Elia is bezig om het 380kV-elektriciteitsnet volledig uit te bouwen via verbindingen met 2x3 GW. Hierdoor is het bijkomend zinvol en aangewezen om ook het Ventilus project te voorzien van een capaciteit van 6 GW. Er werd hierover door de experten geen verdere analyse uitgevoerd.

De experten stellen tenslotte ook dat de meest aangewezen technologie, in het geval van een lagere capaciteit, niet noodzakelijk anders zou zijn. Lokale energievoorziening en opslag zullen de nood aan een elektriciteitsnet met voldoende transportcapaciteit niet verminderen.

Gelijkstroom (HVDC, High Voltage Direct Current)

Het Ventilus project zal deel uit maken van de ruggengraat (380kV) van het Belgische elektriciteitsnet. De hoogspanningsverbinding zal essentieel zijn voor het transport van elektriciteit afkomstig van de offshore windparken en verbindingen met buurlanden, de zogenaamde interconnecties. Daarnaast is Ventilus nodig om de bestaande Stevin-lijn in te lussen in het vermaasde elektriciteitsnet. Hierdoor zal het Ventilus project een belangrijke bijdrage leveren aan de Belgische bevoorradingszekerheid.

Bij het gebruik van gelijkstroomtechnologie, HVDC (high voltage direct current), voor het Ventilus project neemt de complexiteit van de uitbating van deze verbinding binnen het vermaasde elektriciteitsnet in wisselstroom, AC (alternating current), sterk toe. Door deze toenemende complexiteit van interacties ontstaan bijkomende uitbatingsrisico’s die het netbeheer bemoeilijken.

De uitbatingscondities van een elektriciteitsnet zijn slechts bij benadering bekend en sterk veranderlijk van aard. Bijvoorbeeld door wisselende hernieuwbare energieproductie, technische defecten, enz. De integratie van een HVDC-verbinding in het vermaasde elektriciteitsnet (AC) leidt daarbij tot een significante verhoging van het risico op stabiliteitsproblemen.

De HVDC-technologie heeft binnen het huidige tijdsvenster niet de nodige maturiteit om toegepast te worden op het specifieke Ventilus project. Wanneer Ventilus in gelijkstroom (HVDC) zou worden uitgevoerd, is de nieuwe hoogspanningsverbinding bij een incident niet in staat om automatisch transport van elektrisch vermogen over te nemen van een eventueel incident op de Stevin-lijn. De beschikbare omvormers die dan in werking moeten treden, kunnen op dit ogenblik de goede uitbating van de vermazing van het netwerk niet garanderen. Hierdoor kan een sneeuwbaleffect volgen waardoor alle productie en import in één keer verloren gaat en het gehele net uitvalt.

Er zijn geen HVDC-projecten bekend die vergelijkbaar zijn met de topologie, condities en capaciteit van het Ventilus project. Tot op heden wordt de HVDC-technologie hoofdzakelijk gebruikt voor toepassingen van een andere aard: interconnecties tussen regelzones (asynchrone netwerken), aansluitingen van offshore windparken en punt-tot-punt-verbindingen met gekende uitbatingscondities.

Een toepassing van de HVDC-technologie voor het Ventilus project is volgens de experten voldoende goed onderzocht. Daarbij kwamen enkele gebreken en de beperkte ervaringen in complexe netsituaties aan bod. Ook werd aangetoond dat er nog te weinig kennis is (o.a. qua modellen) met betrekking tot bepaalde belangrijke aspecten voor de netuitbating. De technische problemen die Elia in haar rapport identificeert en beschrijft, zijn zeer reëel en bemoeilijken de implementatie van de HDVC-technologie op middellange termijn in situaties gelijkaardig aan het Ventilus project. Deze problemen zijn gekend en worden actief onderzocht, onder meer in de academische wereld (o.a. EnergyVille), en door de transmissienetbeheerders (ENTSO-E).

Er werd door alle geconsulteerde experten geconcludeerd dat de keuze voor gelijkstroom (HVDC) geen redelijk alternatief is voor het Ventilus project. Het gebruik van HVDC (gelijkstroom) in vermaasde netelementen staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Binnen het tijdskader van het Ventilus project biedt de HDVC-technologie geen gegarandeerde betrouwbare toepassing. Dit staat in schril contrast met de maturiteit en garanties die een uitvoering in bovengrondse wisselstroomverbinding kan bieden. Dit bevestigt dat wisselstroom de enige aanvaardbare technologie is voor de uitbouw van het project.

Ondergronds wisselstroom

De mogelijkheden om Ventilus gedeeltelijk ondergronds aan te leggen, zijn volgens de experten met de juiste systematische aanpak onderzocht. De conclusies voortgekomen uit deze analyses worden door de experten gedeeld.

De experten bevestigen dat de afstand die in wisselstroom ondergronds kan worden gebracht, niet wordt bepaald door één specifieke parameter. Deze afweging is onderhevig aan een complex samenspel tussen technische aspecten, zoals: spanningslimieten, compensaties, beveiligingen en resonanties.

Vanuit risico-oogpunt kan geconcludeerd worden dat een lengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit. Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per verbinding gewerkt worden, dit met een lengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg. Elke extra kilometer ondergrondse kabel verhoogt de risico's aanzienlijk op het optreden van resonanties, spanningsprongen en uitbatingsrisico's waardoor de betrouwbaarheid niet meer gegarandeerd kan worden. Dit laatste zou onverantwoord zijn gelet op de significante gevolgen, niet alleen in België maar ook daarbuiten.

De verbinding realiseren op een lager spanningsniveau (bv. 220 kV) zal hieraan niets wijzigen, maar zou door toevoeging van het totale aantal componenten de betrouwbaarheid verminderen.

De experten wijzen er ook op dat het vermogen van 6 GW niet uniek is. Het ganse Belgische hoofdtransportnet wordt de komende jaren op 6 GW gebracht. In het buitenland zijn er vele voorbeelden van lijnen die zwaardere vermogens transporteren.

Voor vergelijkbare vermogens (6 GW) komt men in het buitenland niet tot langere afstanden ondergronds, integendeel. Het doet het Belgische netbeheer behoren tot de selecte kring van netbeheerders die wel degelijk bereid zijn om de limieten op te zoeken van wat technisch haalbaar is, zonder evenwel onverantwoorde risico's te nemen.

1. Ondergronds

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren vragen diepgaand onderzoek naar een ondergrondse lijn overheen het gehele traject met maximale aandacht voor nodige bescherming mens en milieu.

Het onderzoek naar de ondergrondse mogelijkheden werd uitvoerig gevoerd, inclusief een dubbelcheck daarvan met externe experten. De conclusies hiervan zijn hierboven, in de procesnota en bijlage 4 bij de scopingnota (gezamenlijke standpunten van de experten) terug te vinden. Deze dubbelcheck heeft op dit punt niet geleid tot een bijstelling van de aannames uit de startnota.

Een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren stellen de vraag wat de mogelijkheden van een ondergrondse lijn op gelijkstroom zijn? Kan hiermee een langer traject gefaciliteerd worden? Aansluitend werden de mogelijkheden bevraagd omtrent een ondergrondse lijn op gelijkstroom door middel van kokers in de grond met nodige technische voorzieningen voor koeling (aan de hand van specifieke materialen en/of zeewater). Die kokers zijn dan groot en diep genoeg geplaatst zodat herstellingen en aanpassingen mogelijk zijn zonder de bovenliggende grond te beschadigen of te beroeren.

Het onderzoek naar de mogelijkheden voor de uitvoering van Ventilus in gelijkstroom werden in het kader van de dubbelcheck technologie door verschillende experten bekeken. Er werd door alle geconsulteerde experten geconcludeerd dat de keuze voor gelijkstroom (HVDC) geen redelijk alternatief is voor het Ventilus project. Het gebruik van HVDC in vermaasde netelementen staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Binnen het tijdskader van het Ventilus project biedt de HDVC-technologie geen gegarandeerde betrouwbare toepassing. Dit staat in schril contrast met de maturiteit en garanties die een uitvoering in bovengrondse wisselstroomverbinding kan bieden. Dit bevestigt dat wisselstroom de enige aanvaardbare technologie is voor de uitbouw van het project.

In de technologie-nota die bij de startnota was gevoegd, worden alle beschikbare technologieën voor het ondergronds brengen van hoogspanningslijnen en hun maturiteit beschreven. Er bestaat tot op heden geen ondergrondse technologie die gebruikt maakt van waterkoeling en recuperatie van restwarmte voor ondergrondse wisselstroomverbindingen, al dan niet via kokers.

De conclusies van de dubbelcheck zijn hierboven en als bijlage 4 bij de scopingnota terug te vinden . Deze dubbelcheck heeft op dit punt niet geleid tot een bijstelling van de aannames uit de startnota.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt de vraag gesteld om de lijn ondergronds te bundelen met bestaande leidingen.

Uit de dubbelcheck technologie blijkt dat Ventilus ondergronds uitvoeren in gelijkstroom geen redelijk alternatief is voor het Ventilus project. Het gebruik van HVDC (gelijkstroom) in vermaasde netelementen staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Bij een realisatie in wisselstroom wordt er vanuit risico-oogpunt geconcludeerd dat een lengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit (wat in totaal 18 ondergrondse kabels betekent). Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per circuit gewerkt worden (wat in totaal 12 ondergrondse kabels betekent), dit met een lengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg. Waar eventueel een deel van de hoogspanningslijn ondergronds in wisselstroom kan gerealiseerd worden, ligt nog niet vast. Het bundelingsprincipe zal overal maximaal worden toegepast. De conclusies van de dubbelcheck zijn hierboven en als bijlage 4 bij de scopingnota terug te vinden . Deze dubbelcheck heeft geleid tot een bijstelling van het maximaal aantal km dat ondergronds in wisselstroom kan worden aangelegd (uitbreiding tot maximaal 12 km indien de ondergrond dit toelaat).

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt aangehaald dat gelijkstroomtechnologie louter onder begeleiding van voorgaande studie en om financiële redenen niet als redelijk alternatief in overweging wordt genomen. Nochtans wordt in startnota uitdrukkelijk gesteld dat de gelijkstroomtechnologie een aantal voordelen heeft in vergelijking met de wisselstroomtechnologie en wordt uitdrukkelijk bevestigd dat de gelijkstroomtechnologie weldegelijk technisch mogelijk is.

Als algemene overkoepelende ambitie, die steeds wordt nagestreefd, wordt een maatschappelijk verantwoorde kosten / baten verhouding voorop gesteld. Een overheid dient immers altijd rekening te houden met de maatschappelijke kosten-baten verhouding van plannen en projecten.

Voor de milieubeoordeling daarentegen, worden economische aspecten niet meegenomen. De redelijke alternatieven zullen in verschillende effectenbeoordelingen op hun effecten worden onderzocht waaronder ook een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Dit onderzoek zal samen met de overige effectenbeoordelingen (het plan-MER, RVR) de onderbouwing vormen van de uiteindelijke keuze van het voorkeursalternatief. Het plan, dat gelinkt is met de concrete realisatie van een project en dus eventuele (inrichtings)alternatieven moeten zowel aan de plandoelstellingen als aan deze algemene overkoepelende doelstelling voldoen.

Het onderzoek naar de ondergrondse mogelijkheden en de mogelijkheden van gelijkstroom voor het project Ventilus werd uitvoerig gevoerd, inclusief een dubbelcheck daarvan met externe experten. De conclusies van de dubbelcheck zijn hierboven en als bijlage 4 bij de scopingnota terug te vinden . Deze dubbelcheck heeft niet geleid tot een bijstelling van de aannames uit de startnota op dit punt.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt met betrekking tot de technologie verwezen naar heel wat internationale voorbeelden en praktijken:

- **Er zijn internationale voorbeelden (Nederland, China, Denemarken en Duitsland bijvoorbeeld) die tonen dat een langer ondergronds traject van 8 km mogelijk is. Waarom is dit hier technisch niet mogelijk?**
- **In Nederland loopt een onderzoek over de haalbaarheid van lange ondergrondse kabeltracés. Wordt dit opgevolgd?**

Het planteam voerde een dubbelcheck uit voor wat betreft de haalbaarheid van een ondergrondse verbinding voor Ventilus. Dit is, zoals in de procesnota is opgenomen, gebeurd samen met een aantal experten. Ze volgen de ontwikkelingen in het buitenland heel nauwgezet op.

Omwille van de verwijzingen naar Nederland werden ook Nederlandse experten (Tennet) en de Technische Universiteit van Delft opgenomen. Daarnaast werd ook een schriftelijk advies gevraagd aan het HVDC Center in de UK. Wat de Duitse expertise betreft, wordt er in de inspraakreacties regelmatig verwezen naar 50Hertz. Dit betreft een zusterbedrijf van Elia. De experten uit Nederland (Tennet) maar ook de experten van Elia die bij de dubbelcheck betrokken zijn, kennen de situatie in Duitsland voldoende.

Bij een realisatie in wisselstroom wordt er vanuit risico-oogpunt geconcludeerd dat een lengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit. Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per verbinding gewerkt worden, dit met een lengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg.

De conclusies van de dubbelcheck zijn hierboven en als bijlage 4 bij de scopingnota terug te vinden . Deze dubbelcheck heeft geleid tot een bijstelling van het maximaal aantal km dat ondergronds in wisselstroom kan worden aangelegd (uitbreiding tot maximaal 12 km indien de ondergrond dit toelaat).

Een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen vragen meer duidelijkheid over de pro's en contra's van een volledig ondergronds tracé zodat beter kan worden ingeschat wat hiervan de meerkosten zijn ten opzichte van bovengrondse leidingen. Wat zijn de mogelijke milieueffecten die ondergrondse kabels kunnen veroorzaken en wat zijn de baten op vlak van landschap, versnippering van open ruimte, gezondheid, … ?

Als algemene overkoepelende ambitie, die steeds wordt nagestreefd, stellen we een maatschappelijk verantwoorde kosten / baten verhouding voorop. Een overheid dient immers altijd rekening te houden met de maatschappelijke kosten-baten verhouding van plannen en projecten.

Voor de milieubeoordeling daarentegen, worden economische aspecten niet meegenomen. Alle redelijke alternatieven zullen in verschillende effectenbeoordelingen op hun effecten worden onderzocht, waaronder ook een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Dit onderzoek zal samen met de overige effectenbeoordelingen (het plan-MER, RVR) de onderbouwing vormen van de uiteindelijke keuze van het voorkeursalternatief. Artikel 2.2.5, § 1, 8° van de VCRO bepaalt overigens dat het RUP onder meer de kwaliteitsbeoordeling van het team, en, in voorkomend geval, een overzicht van de conclusies van de effectbeoordelingen (plan-MER, passende beoordeling, RVR of

andere effectrapporten), moet bevatten, waarbij aangegeven wordt hoe die geïntegreerd zijn in het plan.

Het voorgenomen plan is gelinkt aan de realisatie van een concreet project. Mogelijke (inrichtings-)alternatieven moeten zowel aan de plandoelstelling(en) als aan deze algemene overkoepelende doelstelling voldoen.

Het planteam voerde een dubbelcheck uit voor wat betreft de haalbaarheid van een ondergrondse verbinding voor Ventilus. Dit is, zoals in de procesnota is opgenomen, gebeurd samen met een aantal experten. Deze dubbelcheck heeft geleid tot een bijstelling van het maximaal aantal km dat ondergronds in wisselstroom kan worden aangelegd (uitbreiding tot maximaal 12 km indien de ondergrond dit toelaat). Een volledig ondergrondse wisselstroomverbinding is dus niet mogelijk en geen relevant alternatief. Ook andere ondergrondse technologieën voldoen niet aan de technische randvoorwaarden wat betreft uitvoerbaarheid.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt gesteld dat de strook die nodig is voor ondergrondse aanleg sterk beperkt kan worden door de kabels verticaal in plaats van horizontaal te plaatsen.

De transportcapaciteit van ondergrondse kabels wordt sterk bepaald door hoe goed de kabels hun warmte kunnen afvoeren aan de omliggende ondergrond. Daarbij worden ze ook beïnvloed door omliggende kabels, waardoor ze in realiteit op enige afstand van elkaar geplaatst worden. Hoe dieper kabels liggen, hoe moeilijker ze ook hun warmte kunnen afvoeren. Door de kabels verticaal te plaatsen in plaats van horizontaal, hebben ze bijgevolg een lagere transportcapaciteit, waardoor er waarschijnlijk meer kabels in parallel nodig zijn om eenzelfde transportcapaciteit te hebben dan kabels die horizontaal en verder uit elkaar worden geplaatst. Dit heeft dan weer een negatief effect op de totale lengte die men ondergronds kan aanleggen, want hoe meer kabels in parallel, hoe groter de risico's.

Daarnaast heeft een verticale plaatsing van kabels ook nadelen voor het beheer nadien doordat ze nauwelijks toegankelijk zijn bij onderhoud en incidenten.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt verwezen naar een federale wet die voorschreef dat hoogspanningslijnen ondergronds dienen aangelegd te worden. Aanleg kan enkel mits volmacht van het College van Burgemeester en Schepenen.

Een dergelijke wet blijkt niet te bestaan. Ook uit de inspraakreactie kan niet worden afgeleid worden welke wet precies wordt bedoeld.

In een aantal adviezen, opmerkingen en bezwaren zijn meerdere vragen gesteld omtrent de implementatie van één en/of meerdere lijnen met een lagere capaciteit/voltage:

- **Vraag om geen 380 kV-lijn te voorzien maar te opteren voor meerdere lijnen met een lagere capaciteit/voltage, die dan ondergronds kunnen aangelegd worden en/of verschillende richtingen uitgaan om stroom aan te leveren.**
- **Vraag om vroeger te vertakken naar 220 kV om zo grotendeels ondergronds te (kunnen) blijven.**

- **Vraag tot ondergronds gaan op laagspanning/lagere spanning (al dan met meerdere lijnen / groter vertakt netwerk) en een parallel ondergronds 220 kV netwerk.**

De reden van het bestaan van het 380kV-net met aftakkingen naar de lagere spanningsniveaus (150, 220 en 70kV) is dat grote vermogens best getransporteerd worden op hoge spanningsniveaus. Dit verlaagt de hoeveelheid infrastructuur, de netverliezen, het beheer, …

De vraag wordt vaak gesteld om deze hoogspanningsverbindingen toch op 220kV of lager te realiseren, gezien deze kabels vaak wel ondergronds worden aangelegd (bv de zeekabels naar de windparken of lokale verbindingen op land). Deze vraag werd ook voorgelegd aan de experten bij de dubbelcheck technologie (zie procesnota).

Een vermogen van 6GW transporteren via 220 kV-kabels zou technisch geen logische keuze zijn, omdat het meer netverliezen zou genereren. Het toepassen van een 220kV-verbinding impliceert ook hogere stromen. Hierdoor is het nodig om meer kabels (ca. 10 verbindingen x 3 kabels) in parallel te plaatsen, met een even groot of zelfs groter capacitief effect (reactief vermogen) tot gevolg. Dat komt in mensentaal op neer dat er zeker niet langer ondergronds kan gegaan worden om hetzelfde volume te transporteren dan bij een 380kV-verbinding.

Twee extra hoogspanningsstations zouden nodig zijn om met een groot aantal vermogenstransformatoren de stroom te transformeren van 380 kV naar 220 kV en vice versa. Dit introduceert extra elektrische verliezen en betekent een forse toename van het aantal componenten in de verbinding, hetgeen resulteert in een negatief effect op de beschikbaarheid en betrouwbaarheid. De nood aan bijkomende transformatoren aan de uiteindes van Ventilus verlaagt het kortsluitvermogen en beïnvloedt de stroomverdeling over Ventilus-Stevin ongunstig. Hierdoor blijft de kustregio een zwak net.

Door bovenstaande factoren is dit voorstel vanuit technisch en uitbatingsoogpunt geen goed alternatief in het licht van de plandoelstellingen, zodat het niet als een redelijk alternatief kan worden beschouwd.

Een aantal opmerkingen, bezwaren en adviezen vragen om op te splitsen in meerdere ondergrondse hoogspanningslijnen aan een lager voltage en deze niet ruimtelijk te bundelen om de impact op de omgeving te beperken.

Voor de opsplitsing in lijnen van een lager voltage, wordt verwezen naar bovenstaande vraag. Dit leidt tot dezelfde en nog bijkomende nadelen als een 380kV-verbinding.

Het bundelen van ondergrondse kabels met andere lijnvormige infrastructuren (en elkaar) wijzigt de technische problemen bovendien niet. Het bundelingsprincipe is een principe dat, in uitvoering van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen[7], wordt toegepast voor Ventilus. De draagstructuren of de tracés van bestaande bovengrondse hoogspanningsleidingen komen bij voorkeur in aanmerking voor het aanbrengen van bijkomende elektrische geleiders, als zij daarvoor ontworpen zijn. In tweede instantie wordt gezocht of er kan gebundeld worden met lijninfrastructuren van Vlaams niveau. Het bundelingsprincipe met lijninfrastructuren op Vlaams niveau geldt op identieke wijze voor ondergrondse hoogspanningsleidingen als voor bovengrondse hoogspanningsleidingen.

[7] Merk op dat artikel 2.1.2, § 3 van de VCRO, zoals van toepassing op voorliggend planproces, bepaalt dat de plannende overheid niet mag afwijken van het richtinggevend gedeelte van het RSV, tenzij omwille van onvoorziene ontwikkelingen van de ruimtelijke behoeften van de verschillende maatschappelijke activiteiten of omwille van dringende sociale, economische of budgettaire redenen.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 van de scopingnota.

Belasting

Een 6GW lijn is nog nergens toegepast in Europa en dus zou de situatie in West-Vlaanderen na Ventilus uitzonderlijk zijn. De zwaarste hoogspanningslijn van de Benelux, de verbinding in Meeden-Emshaven is ontworpen op 2x 380kV 2635MW, waardoor de impact van de elektromagnetische velden op mens en dier ongekend is.

De elektromagnetische velden worden veroorzaakt door de stroom en niet door de capaciteit van de verbinding. Uiteraard kan er door een verbinding met een hogere capaciteit een hoger vermogen getransporteerd worden.

Binnen het Elia-net zijn er al 6 GW corridors:
- De verbinding Van Maerlant (Damme) - Horta (Zomergem);
- De verbinding Horta (Zomergem) – Mercator (Kruibeke);
- De verbinding Horta (Zomergem) - Avelgem

Zoals beschreven in het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 zal tussen nu en 2035 bijna de volledige 380 kV backbone (ruggengraat) geüpgraded worden naar 6 GW. Deze aanpak past volledig in de filosofie om de bestaande infrastructuur zo veel als mogelijk te optimaliseren, vooraleer er overgegaan wordt tot de beslissing voor het bouwen van nieuwe infrastructuur.

West-Vlaanderen wordt dus niet uitzonderlijk 'belast' met zware hoogspanningsverbindingen, maar op eenzelfde niveau gebracht als in de rest van het land, niet meer en niet minder. West-Vlaanderen is, omwille van de historische afwezigheid van grote productie- en afnamepunten, op vlak van hoogspanning vandaag wel uitzonderlijk door de beperkte aanwezigheid van 380 kV hoogspanningslijnen.

Het Belgische spanningsniveau en transportvermogen is overigens ook niet zo uitzonderlijk. Er bestaan al systemen met grote transportcapaciteit in de buurlanden en er zullen er nog heel wat nieuwe voorzien worden. In Nederland is er bijvoorbeeld de bovengrondse 380 kV verbinding tussen Eemshaven en Meeden. Deze verbinding bestaat uit hoogspanningsmasten met hierin 2 x 220 kV + 2 x 380 kV-circuits met een stroombelastbaarheid van 4 kA per circuit. Dit betekent een totale transportcapaciteit van 8 GW per corridor. Momenteel wordt ook gewerkt aan een nieuwe 380 kV-bovengrondse verbinding tussen Eemshaven en Groningen van 10 GW (4 x 2,5 GW) per corridor. Ook elders in Europa zijn voorbeelden van zwaardere lijnen. Er werd bijvoorbeeld eind 2019 in het Noorden van Duitsland een verbinding van 8 GW in dienst genomen (Elbekreuzung II). Dit is een 4-circuit 380kV hoogspanningslijn, net als de dubbele Förderstedt verbinding ter hoogte van Maagdenburg in Duitsland.

In een aantal adviezen, opmerkingen en bezwaren wordt gevraagd wat met de " bottle neck" van 4 GW ondergronds AC in Damme zal gebeuren terwijl in voorliggend plan een 6 GW net zal worden aangelegd?

Op de behoefte van de 6GW wordt uitvoerig ingegaan in hoofdstuk 1 van de scopingnota, samen met capaciteit van de Stevin-lijn.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt aangegeven dat bij gelijkstroom ondergronds men een lijn met een vermogen van 10 of 12 GW meteen kan aanleggen (eenmalige kost aanleg) zodat men bij een grotere energievraag niet opnieuw moet beginnen en men een toekomstgericht hoogspanningsnet aanlegt.

Hiervoor wordt verwezen naar de gevoerde dubbelcheck van de technologiekeuze en het advies van de experten dat het toepassen van een ondergrondse HVDC-verbinding in detail bespreekt. Hieruit blijkt duidelijk dat de HVDC-technologie nog onvoldoende matuur is voor toepassing bij Ventilus, binnen de voorziene realisatietiming. Voor vermogens hoger dan 6 GW wordt deze redenering nog versterkt.

2. Verstoring

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt aangegeven dat langs de Reigatstraat te Lichtervelde het terrein van modelvliegclub Blériot gelegen is op ongeveer 500 meter van de E403. Zal de komst van de hoogspanning het uitoefenen van het modelvliegen verhinderen? Hoeveel afstand moet er gehouden worden van de hoogspanning? (er wordt niet gevlogen over de snelweg) Bestaat er een risico op storing of interferentie met de radiobestuurde vliegtuigen?

De circulaire CIR/GDF-01 van het Directoraat-generaal Luchtvaart, onderdeel van de FOD Mobiliteit, beschrijft de richtlijnen die de modelluchtvaart moet respecteren. Zo moet er een veiligheidsafstand van 200 m behouden worden ten opzichte van autowegen (inclusief de autoweg E403) en van hoogspanningslijnen. Buiten deze zone is modelluchtvaart toegelaten.

Elektriciteit wordt getransporteerd met een frequentie van 50 Hz. Modelvliegtuigen hebben een radiografisch bereik dat in het MHz-bereik ligt (26-2400 MHz). Gezien de verschillende frequenties zullen beide golven niet interfereren met elkaar. Er is vandaag geen weet van feitelijke storingen op de MHz-bandbreedte.

In de plan-MER zal onder de discipline mens - ruimtelijke aspecten nagegaan worden of er een relevante invloed kan zijn op specifieke soorten recreatie zoals modelluchtvaart. Deze evaluatie zal nagaan of de nabije tracéalternatieven een beperking of gebruiksvoorwaarde kunnen inhouden t.a.v. deze recreatieve activiteiten.

3. Technische aspecten

Wat is de minimale afstand tot de leiding van derden bij de aanleg van een hoogspanningslijn (ondergronds/bovengronds)

Dit aspect wordt behandeld in hoofdstuk 5.3.7 ‘afstanden ten opzichte van andere infrastructuren’ van de scopingnota.

Hoe worden de hoogspanningslijnen aangelegd? Hoe worden bestaande lijnen versterkt/opgewaardeerd?

De vraag naar concrete aanleg betreft een vraag naar uitvoeringsaspecten. Deze worden in voorliggend gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan niet als dusdanig vastgelegd en behandeld. Een korte bespreking van de aanleg is opgenomen in bijlage 4.1 van de scopingnota.

De versterking en herbenutting van bestaande lijnen wordt behandeld in respectievelijk hoofdstuk 5.1 en hoofdstuk 5.2 van de scopingnota.

Wat is de hoogte van een mast en op welke afstand worden masten van elkaar geplaatst?

Dit aspect wordt behandeld in hoofdstuk 4.1 'Kenmerken bouwblokken' van de scopingnota.

Hoe hoog wordt de bedrading van de hoogspanningslijn aangebracht boven bestaande gebouwen en bedrijven?

Er wordt een minimale hoogte opgelegd door het KBEI (Koninklijk besluit tot vaststelling van Boek 1 betreffende de elektrische installaties op laagspanning en op zeer lage spanning, Boek 2 betreffende de elektrische installaties op hoogspanning en Boek 3 betreffende de installaties voor transmissie en distributie van elektrische energie.). Waar de zone met gebruiksbeperkingen die in het GRUP vastgelegd wordt een hogere bouwhoogte voorziet dan de reeds aanwezige gebouwen zal met de mogelijke toekomstige bouwhoogte rekening gehouden worden. De geleiders van de hoogspanningslijn zullen hier dus hoger hangen dan de minimumhoogte cfr het KBEI.

Naast de vermelde minimale hoogtes zullen andere eigenschappen meespelen in de hoogte boven bestaande gebouwen en terreinen. Met name de afstand van de mast tot de betrokken locatie, de hoogte van de mast en de afstand tot de eerstvolgende mast zijn belangrijk. De geleiders hangen immers niet horizontaal tussen opeenvolgende masten maar "hangen door" en volgen dus een curve waarbij de geleiders lager hangen naarmate men verder van de mast is.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt gevraagd of HVDC en HVAC op dezelfde pyloon gebruikt kan worden? Kunnen bestaande trajecten gebruikt worden voor het HVDC net?

Voor het antwoord op deze vraag wordt verwezen naar de gevoerde dubbelcheck van de technologiekeuze en het advies van de experten dat het toepassen van een ondergrondse HVDC-verbinding in detail bespreekt. Hieruit blijkt duidelijk dat de HVDC-technologie nog onvoldoende matuur is voor toepassing bij Ventilus, binnen de voorziene realisatietiming. Een combinatie van een HVDC en HVAC verbinding is voor het Ventilus project dan ook niet van toepassing.

Kan de lijn meer capaciteit krijgen in de toekomst?

Een capaciteitsverhoging van Ventilus naar een capaciteit van meer dan 6GW is enkel mogelijk door de geleiders te vervangen. Hiervoor zouden nieuwe vergunningen en een nieuw MER nodig zijn.

4. Future proof

Is het voorgestelde compatibel met het toekomstige Europese HVDC (high voltage direct current) net? De startnota lijkt hiermee geen rekening te houden.

Het Europese *supergrid* is een theoretisch concept dat sinds een aantal jaren door sommige partijen naar voor geschoven wordt. Gezien de beperkingen van wisselstroom voor offshore netten, wordt de HVDC-technologie naar voor geschoven om dit te realiseren. Er zijn echter geen concrete plannen om

effectief een overkoepelend design van een Europees *supergrid* uit te werken en dit hiernavolgend te bouwen.

Het Europees HVDC-net zal een offshore elektriciteitsnet vormen voor interconnecties tussen offshore windparken en op verschillende punten zelf verbonden worden met wisselstroomnetten op land. Bijna alle huidige geplande en/of voorgestelde Europese HVDC-verbindingen zijn interconnecties tussen verschillende landen en regelzones (punt-tot-punt). Naar uitbating en veiligheid toe is HVDC voor dergelijke interconnecties een gekende technologie, in veel gevallen zelfs aangewezen.

Het Europese HVDC-net zal voornamelijk één extra laag zijn bovenop het huidige interconnectienet, met zijn eigen functionaliteiten. Het Ventilus project is geen interconnectie, maar een intern netelement in het Belgische elektriciteitsnet. Geen enkel toekomstig Europees HVDC-project voorziet in de inlussing van het AC-net door HVDC.

Het project Ventilus past perfect binnen de visie van het Europese HVDC-net, ook al zou het gebaseerd zijn op andere technologieën dan HVDC. De technologiekeuze voor Ventilus heeft geen invloed op de uitbouw van Europese HVDC-projecten.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt gevraagd naar het gebruik van andere masttypes en materialen op het traject of delen van het traject. Ook wordt in een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen gevraagd om Wintrackmasten die een derde van de elektromagnetische straling uitzenden te gebruiken.

Het hoogspanningsnet in Vlaanderen bestaat quasi geheel uit vakwerkmasten. Tijdens de publieke consultatie werd omwille van de bezorgdheid over magnetische velden uitdrukkelijk gevraagd om ook de mogelijkheid van het gebruik van Wintrackmasten te bekijken. Dit is een type buismast en deze heeft dus een ander fysiek voorkomen dan de gekende vakwerkmasten.

De compacte vakwerkmast en de Wintrackmast zijn ontworpen voor toepassing in dicht bebouwde regio's zoals Vlaanderen. Deze twee masttypes hebben een smallere zone van magnetische velden dan alle andere masttypes. Het planteam zal in het verdere milieueffectenonderzoek rekening houden met zowel de compacte vakwerkmast als de Wintrackmast.

Het meenemen van deze projectkenmerken in het onderzoek op planniveau kan leiden tot een betere planvorming en een eenvoudigere mastkeuze in de projectfase.

De traditionele vakwerkmast biedt geen voordelen ten opzichte van deze masten en het is dus niet meer relevant om uitsluitend dit type te gebruiken voor nieuwe hoogspanningslijnen. Enkel voor specifieke functies (masten aan de uiteinden van de lijn, kritische kruisingen) worden traditionele vakwerkmasten gebruikt indien deze functies niet bedekt kunnen worden met compacte vakwerkmasten of Wintrackmasten.

De CompactLine, Eagle Tower en T-pylon hebben als voordeel dat deze lager zijn, maar combineren dit met een veel bredere zone met geleiders en een veel bredere magneetveldzone. Deze zijn niet ontworpen voor en minder geschikt in dicht bebouwde regio's en worden niet verder meegenomen in het onderzoek.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt aangegeven dat er begrip is dat elektriciteit er moet komen, maar dat er andere manieren zijn die esthetischer en gezonder zijn, maar niet goedkoper. De omzet zal hoog zijn, de winst misschien lager, maar vooral beter voor het milieu.

Voor het alternatieven onderzoek op planniveau (zoals o.a. opgenomen in het plan-MER) , worden economische aspecten niet meegenomen. Alle redelijke alternatieven zullen in verschillende effectenbeoordelingen op hun effecten worden onderzocht waaronder ook een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Dit onderzoek zal samen met de overige effectenbeoordelingen (het plan-MER, RVR en passende beoordeling) de onderbouwing vormen van de uiteindelijke keuze van het voorkeursalternatief. Het plan, is gelinkt aan realisatie van een concreet project, zodat eventuele (inrichtings-)alternatieven moeten zowel aan de plandoelstellingen als aan deze algemene overkoepelende doelstelling voldoen.

Het onderzoek naar de ondergrondse mogelijkheden en de mogelijkheden van gelijkstroom voor het project Ventilus werd uitvoerig gevoerd, inclusief een dubbelcheck daarvan met externe experten. De conclusies van de dubbelcheck zijn hierboven en als bijlage 4 bij de scopingnota terug te vinden .

Alternatieven

Tijdens de periode van publieke raadpleging werden heel veel voorstellen tot het bijkomend onderzoeken van alternatieven gedaan. De opmerkingen en adviezen die betrekking hebben op de voorgestelde trajecten uit de startnota, alsook voorstellen voor bijkomende alternatieven worden binnen dit thema besproken, uitgezonderd een aantal vragen inzake 'technologische' (uitvoerings) alternatieven die reeds werden beantwoord in het thema 'Technologie' van deze antwoordnota.

1. Inspraakreacties inzake de plandoelstellingen die niet leiden tot een volwaardig (en dus redelijk) alternatief

Uit de reacties bleek de noodzaak te bestaan om het planvoornemen, de plandoelstellingen en de reikwijdte verder te verduidelijken en scherp te stellen. De scopingnota werd op dat punt aangevuld (zie hoofdstuk 3). Hieronder wordt ingegaan op een aantal reacties die ingingen op specifieke aspecten van de plandoelstellingen.

Een aantal reacties stellen het plan en hieruit volgend project in vraag. In het verleden werd reeds een gelijkaardig project opgestart, waarom nu terug?

In hoofdstuk 1 van de scopingnota wordt uitvoerig ingegaan op de aanleiding en noodzaak van dit plan en hieruit volgend project.

Waarom een bijkomende kabel voorzien naar het Verenigd Koninkrijk?

De realisatie van een tweede interconnectie via de zee wordt momenteel onderzocht door Elia. Dergelijke interconnecties bevorderen de integratie van (hernieuwbare) energie op Europese schaal en dragen bij tot een verdere prijsconvergentie. Hierdoor verbetert niet alleen de bevoorradingszekerheid, maar blijft België ook competitief ten opzichte van haar buurlanden en wordt ook de mogelijkheid vergroot om elektriciteit te verkopen of aan te kopen op de geïntegreerde Europese markt. Er worden ook interconnecties met andere Noordzeelanden onderzocht.

Vraag tot onderzoeken van omzetten elektriciteit uit windmolenparken in gas/waterstof aan de kust om vervolgens ondergronds te transporteren. Wordt de mogelijkheid van waterstof als drager van energie onderzocht? Het transport van waterstof kan gebeuren via schepen.

Deze vragen werden ook voorgelegd aan de experten bij de dubbelcheck technologie (zie bijlage 4_8 bij de scopingnota).

Waterstof vormt op kortere termijn geen kansrijk alternatief voor het Ventilus project. Deze technologie bevindt zich nog in de conceptuele fase en zal binnen het tijdskader van het Ventilus project geen enkele rol van betekenis spelen. Er zijn nog heel veel technologische en economische uitdagingen die moeten overwonnen worden vooraleer deze technologie een rol zal kunnen spelen in het energiesysteem. Het transport van elektriciteit via waterstof valt door lage omzettingsrendementen niet te verkiezen. Deze technologie impliceert dat de opgewekte stroom

wordt omgezet in waterstof en nadien opnieuw wordt omgezet in elektriciteit. Deze omzettingen hebben een rendement van ongeveer 30%. Een aansluiting van groene energie op een elektriciteitsnet heeft een rendement van meer dan 90 %. Waterstof voldoet dus niet als alternatief voor Ventilus. Deze technologie is bovendien niet compatibel met het realiseren van een inlussing van de Stevin-hoogspanningslijn in het vermaasde elektriciteitsnet.

Er bestaan concepten waarin waterstof via schepen geïmporteerd wordt uit landen die zo goedkoop energie kunnen produceren. Bijvoorbeeld via zonne-energie in Noord-Afrika waarbij het beperkte omzettingsrendement gecompenseerd wordt. In die zin is het analoog aan het importeren van brandstoffen. Maar dit staat los van de nood aan meer elektrische transportcapaciteit. Het lijkt ook niet realistisch dat zoiets binnen het tijdskader van Ventilus gerealiseerd zou kunnen worden.

Waterstofproductie is vooral nuttig indien waterstof rechtstreeks als product wordt verbruikt. Het omzetten van hernieuwbare stroom naar groen gas kan interessant zijn, bijvoorbeeld in industriële (chemische) processen en de transportsector. Hier kan waterstofproductie het elektriciteitsnet mee helpen balanceren door tijdelijke productieoverschotten te absorberen, dit zonder waterstof opnieuw om te moeten zetten in elektriciteit.

Waterstof als energiedrager zal zeker een toekomst hebben in het energiesysteem. Maar vormt geen alternatief voor het Ventilus project. De technologie bevindt zich momenteel in onderzoeks- of proeffase en zal haar nut slechts ten volle kunnen bewijzen bij zeer hoge hoeveelheden hernieuwbare bronnen in het elektriciteitssysteem. In dit opzicht zijn elektriciteit en waterstof complementair in een holistische oplossing en niet te beschouwen als concurrenten voor de klimaatneutraal maken van het energiesysteem.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt aangegeven dat er nood is aan een ander beleid die mensen meer aanspoort om zoveel mogelijk te voorzien in eigen energie / combinatie met lokale energiestations zonder grote overbruggingen. In de toekomst wordt gestreefd naar minder energieverbruik en meer verspreide, kleinschalige elektriciteitsproductie in combinatie met slimme verbruikers. Dan zal het net minder belast worden. Is er dan nog nood aan voorliggend plan?

Om de klimaatverandering door verdere temperatuurstijging te verhinderen, moet de uitstoot van CO2 gereduceerd worden. Dit zal in de eerste plaats gebeuren door een efficiënt energieverbruik en door de massale inzet van hernieuwbare productie voor elektriciteit in combinatie met de elektrificatie van het energiesysteem (elektrische wagens, warmtepompen, …). Tegen 2050 wil de Europese Commissie het aandeel van elektriciteit in ons energieverbruik laten evolueren van 25% naar 53%. Om tot een volledige stikstofvrij elektriciteitssysteem te komen, stimuleert Vlaanderen in de ontwikkeling van hernieuwbare elektriciteit.

Het succesvol maken van de energietransitie vereist een mix van oplossingen, zowel kleinschalig als grootschalig. De uitdagingen zijn immers enorm, en vereisen tot 8 GW aan windenergie en minstens zoveel aan zonne-energie. De verdere uitbouw van offshore windparken en zonneparken is dus noodzakelijk. Maar een ander beleid dat inzet op intelligent energieverbruik, lokale energieproductie en opslag in batterijen is even onmisbaar. Dit zijn met andere woorden geen inwisselbare alternatieven, maar complementaire puzzelstukken van de oplossing.

De integratie van lokale hernieuwbare energiebronnen kent heel wat uitdagingen. Hernieuwbare energie is variabel. De zon schijnt niet altijd in België en soms is er geen wind. In de winter zijn er dan

meer dan 2 weken zonder betekenisvolle zon of windproductie die moeten overbrugd worden. Ook het verbruik en volumes verschilt in tijd en ruimte.

Het verbruiken en opwekken van energie op lokaal niveau zal in de toekomst toenemen, maar zal zeker niet de volledige belasting kunnen dekken. De nood aan een elektriciteitsnet met voldoende transportcapaciteit zal niet verminderen. Er blijven altijd grote consumptiecentra (industrie, tertiair of zelfs residentieel) bestaan zonder voldoende voorzieningen voor de lokale exploitatie van hernieuwbare energiebronnen. Het is een illusie om te denken dat lokale opslag dé oplossing is. Opslag van hernieuwbare energie op grote schaal is de dag van vandaag economisch niet haalbaar. Batterijen kunnen slechts voor korte periodes en met beperkte capaciteiten een tekort of overschot aan elektriciteit overbruggen om het elektriciteitsnet te stabiliseren. Om efficiënt gebruik te kunnen maken van de grote hoeveelheden hernieuwbare energie die beschikbaar zijn, zal er net meer transport van elektriciteit over grotere afstanden nodig.

Het bovenlokaal elektriciteitsnet garandeert leveringszekerheid voor grote en kleine afnemers, dit ondanks de variabiliteit van de hernieuwbare energie. Dit helpt in omstandigheden waar plaatselijk of voor een lange periode geen zon en wind is. Het internationale elektriciteitsnet verdeelt ook de voordelen van hernieuwbare elektriciteit over heel Europa. Want niet alle landen hebben evenveel potentieel met betrekking tot de productie van hernieuwbare elektriciteit. Bovendien laat het transmissienet toe om de elektriciteit te halen waar die op dat moment het goedkoopst geproduceerd wordt.

De behoefte aan voldoende transportcapaciteit blijft zeer reëel en gerechtvaardigd, zowel om technische als economische redenen. Het 380kV-elektriciteitsnet is noodzakelijk voor de balans, de continuïteit en de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening. De relatief trage uitbouw van onshore windenergie en de (al dan niet volledige) kernuitstap, gekoppeld met de toenemende interconnectie in Europa maken de nood aan het wegwerken van missing links in het elektriciteitsnet actueler dan ooit. Het Ventilus project is een rechtstreeks antwoord op deze noodzaak.

De versterking van het net in West-Vlaanderen is niet nodig, maar te behouden op 150 kV (gezien het streven naar minder energieverbruik, meer verspreide kleinschalige elektriciteitsproductie in combinatie met slimme verbruikers), aanknopingspunt op 'hoger' netwerk is wel nodig (overschotten wegwerken, tekorten aanleveren), voorzien in Avelgem (zie alternatief met een HVDC ondergrondse lijn tussen Zeebrugge en Avelgem langs onder andere E403).

Zie hoger. Een uitgebreide motivering voor de noodzaak en keuze voor een 380 kV-verbinding is ook terug te vinden in hoofdstuk 1.3 van de scopingnota ‘Ventilus als onderdeel van het vermaasde hoogspanningsnet’.

De nood om voorzieningen te realiseren in het westen van West-Vlaanderen, om in de toekomst een bijkomende connectie te kunnen maken met Frankrijk (via Duinkerke).

In de scopingnota zijn alle alternatieven opgenomen die mee zullen worden onderzocht in het geïntegreerd onderzoek. Het alternatief met aanlanding in Koksijde en het mogelijk hergebruik van enkele bestaande hoogspanningstracés tussen Koksijde en Izegem wordt meegenomen als een volwaardig alternatief. Afhankelijk van de postlocatie die bij dit alternatief zou weerhouden worden, kan van daaruit op termijn een bijkomende connectie met Frankrijk overwogen worden, maar dat kan technisch gesproken vanuit iedere hoogspanningspost bestudeerd worden.

Vraag tot de aanbouw van een distributie-/verdeelpost in Zeebrugge (in functie van de toelevering naar Antwerpen); de aanbouw van een windmolenpark in Avelgem (in functie van de toelevering van/naar West-Vlaanderen). In deze vraagstelling wordt de bedenking gemaakt dat de productie dichter bij de mensen moet gebracht worden en dat de windmolenparken op zee te weinig rendementen halen.

De noodzaak van Ventilus wordt geduid in het eerste hoofdstuk (Aanleiding) van de scopingnota en deze is vooral het gevolg van reeds gemaakte maatschappelijke keuzes op Europees, Belgisch en Vlaams niveau. Het project Ventilus is noodzakelijk om de realisatie van die keuzes mogelijk te maken.

De vraag tot combinatie van verschillende doelstellingen in één project maakt dat er weinig oplossingen naar voor geschoven worden. Als de doelstellingen losgekoppeld worden, dan kunnen kleinere projecten hetzelfde doel realiseren.

1) **ondergronds is geen probleem voor 220 kV, enkel voor 380 kV met 6 GW**
2) **vermazing kan met netwerk van ondergrondse kabels met minder vermogen,**
3) **internationaal handelen in Europese elektriciteitsmarkt vereist geen lijn naar Izegem, Nautilus kan perfect aansluiten op Brugge als lijn naar Horta wordt versterkt of ontdubbelt, of gelijkstroom verder landinwaarts tot meest geschikt aansluitingspunt, bijv. Horta (zie ook Federaal Ontwikkelingsplan: "bijkomende interconnectie met VK zou voordelig kunnen gecombineerd worden met een nieuwe verbinding tussen offshore concessiezone en station Doel"),**
4) **voorspelde komst van microgrids zullen bestaande transportcapaciteit ontlasten,**
5) **bevoorradingszekerheid regio Izegem kan ook door bestaande lijnen uit te rusten met betere geleiders.**

De doelstelling van Ventilus met daarbij ook de verklaring voor de keuze voor een lijn van 6 GW met 380 kV-lijnen of kabels worden uitvoerig besproken in hoofdstukken 1 en 2 van de scopingnota.

Voor Ventilus werd op zoek gegaan naar een oplossing die door synergiën zoveel als mogelijk drivers combineert in één oplossing om zo de impact te minimaliseren.

Wat betreft de specifieke opmerkingen:

- De optie van een rechtstreekse aansluiting van de windparken werd ook reeds bekeken voorafgaand aan de startnota (zie macroalternatieven uit de startnota of hoofdstuk 6.9 van de scopingnota). Dit is ook een *stand alone* oplossing voor de rechtstreekse aansluiting van de bijkomende 2GW windparken alleen en voldoet niet aan de plandoelstellingen. Er zou nog steeds een oplossing gezocht moeten worden voor de vermazing van de Stevin-as. De vermazing moet een transportcapaciteit van 6 GW hebben in normale omstandigheden, zodat het eenzelfde transportcapaciteit heeft als de rest van de ruggengraat van het Belgische hoogspanningsnet, zodat er een sterk en toekomstgericht netwerk is voor de uitdagingen in de kustregio. Een dergelijk vermogen kan redelijkerwijs niet gerealiseerd worden met kabels van een lager spanningsniveau (220kV of 150 kV) (zie hoger). Het is ook een foute redenering dat men de stroom ondergronds naar elders kan brengen, zonder dat dit verdere gevolgen heeft voor die andere plaats. Een rechtstreeks aansluiting van de windparken op zee naar bijvoorbeeld Antwerpen, impliceert dat het hoogspanningsnet elders (in dit geval Antwerpen) dient versterkt te worden. Dit is dus niet alleen een niet-toekomstgerichte want halve

oplossing, het is bovendien een verschuiving van de effecten. Nautilus kan niet meer aansluiten op de bestaande Stevin-as. Met de aanwezigheid van 2 GW offshore wind en Nemo Link (1GW) is deze lijn al volledig belast. Een parallelle lijn langs de bestaande Stevin-as zal worden onderzocht als een alternatief.

- In het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 is er geen sprake van het trekken van een HVDC-kabel naar het hoogspanningsstation van Doel. Dit wordt wel besproken in de scopingnota (zie hoofdstuk 6.9).
- Het is een misvatting dat de komst van decentrale productie en zogezegde microgrids (of lokale eilanden) de nood aan een transmissienet zou opheffen. Het realiseren van de energietransitie vraagt immers een immense integratie van hernieuwbare energiebronnen. Om alle elektriciteit hernieuwbaar te kunnen opwekken, is het absoluut nodig om offshore windenergie (Noordzee, Baltische Zee, …) op zeer grote schaal te ontwikkelen. Lokale energieproductie zal niet voldoende zijn. Bovendien zullen ook de vele nieuwe kleinere windparken lokaal geaggregeerd zoveel vermogen opwekken, dat dit niet ten alle tijden lokaal verbruikt kan worden, en een deel zal bijgevolg afgevoerd dienen te worden via het transportnet. Vandaag is reeds het 150kV-net verzadigd, een ondersteuning vanuit het 380kV-net is vereist. Wat betreft de bevoorradingszekerheid van Izegem, gaat het in de eerste plaats over de realisatie van een volwaardig 380kV-onderstation.

Vraag of het een mogelijkheid kan zijn om de reeds bestaande infrastructuur te gebruiken in Izegem, gezien reeds een centrale hier aanwezig is.

De elektriciteit in het zuiden van de provincie West-Vlaanderen in de regio rond Roeselare-Izegem wordt sinds het sluiten van de centrale van Ruien hoofdzakelijk aangevoerd door het 380 kV-net naar het onderstation in Izegem. Een vergroting van de koppeling tussen het 150 kV- en 380 kV-net op deze hoogspanningssite is dan ook noodzakelijk geworden. De huidige rechtstreekse aansluiting van de 380 kV-lijn op 380/150 kV-transformatoren moet hierbij vervangen worden door een volwaardig 380 kV-onderstation dat een hogere beschikbaarheid garandeert en tegelijkertijd de verdergaande elektrificatie in de regio kan opvangen. De synergiemogelijkheid met de nieuwe 380-kV-verbinding tussen de kust en Avelgem wordt hier meegenomen.

2. Nulalternatief

Vraag tot gebruik van bestaande masten(rijen) en hoogspanningsleidingen. Bestaande routes kunnen herbenut worden door onder meer het verzwaren van bestaande hoogspanningslijnen.

Het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (RSV) stelt dat de draagstructuren of de tracés van bestaande bovengrondse hoogspanningsleidingen bij voorkeur in aanmerking komen voor het aanbrengen van bijkomende elektrische geleiders, indien zij daarvoor ontworpen zijn. Dit betekent dat het hergebruiken van bestaande tracés volgens het RSV voorrang krijgt op het realiseren van nieuwe tracés. Bij de voorkomende 70 kV en 150 kV-lijnen kan het tracé herbenut worden door de bestaande lijn ondergronds te brengen (zo veel mogelijk in openbaar domein). Daarna wordt het huidige bovengrondse tracé van de bestaande lijn herbenut voor het realiseren van de nieuwe (380 kV) hoogspanningslijn. Meer uitleg omtrent de toepassing van de ruimtelijke principes uit het RSV is terug te vinden in hoofdstuk 5 ‘Ruimtelijke principes’ van de scopingnota.

In artikel 4.2.8, §1, 5°, b) van het DABM wordt gesteld dat een plan-MER tenminste “*de relevante aspecten van de bestaande situatie van het milieu en de mogelijke ontwikkeling ervan als het plan of programma niet wordt uitgevoerd*” moet bevatten. Een beschrijving van de bestaande situatie, en de

mogelijke ontwikkeling ervan, als het planvoornemen niet wordt uitgevoerd, zal opgenomen worden in de plan-MER. Deze beschrijving zal dienen als referentiesituatie voor de vergelijking met de redelijke alternatieven en de beoordeling van de mogelijk te verwachten milieueffecten. De referentiesituatie is het nulalternatief. Het is bijgevolg niet zinvol om het nulalternatief als een afzonderlijk alternatief te beoordelen omdat dit geen effecten heeft t.o.v. de referentiesituatie.

3. Locatiealternatieven

De opmerkingen en adviezen die ingaan op een locatie worden opgedeeld in drie schaalniveaus: **macro, meso en micro**. Sommige alternatieven worden weerhouden voor verder onderzoek, andere voorgestelde alternatieven zullen niet verder onderzocht worden. De motivatie waarom ze niet verder onderzocht worden, wordt in onderstaande paragrafen telkens mee gegeven. De motivatie moet samen gelezen worden met de ruimtelijke principes, zoals beschreven in hoofdstuk 5 van de scopingnota, en de toepassing ervan voor het voorliggend planvoornemen.

De hoofdalternatieven die wel weerhouden worden voor verder onderzoek zijn (zie hoofdstuk 6 Alternatieven van de scopingnota):

- Hoofdalternatief via de E403;
- Hoofdalternatief via Koksijde;
- Hoofdalternatief parallel met Stevin en Horta-Avelgem;
- Hoofdalternatief via E40;
- Hoofdalternatief via Eeklo-Aalter-Tielt.

Binnen deze hoofdalternatieven zijn in sommige zones meerdere varianten mogelijk. Verder wordt er opgemerkt dat er in de scopingnota, in tegenstelling tot de startnota, niet meer gesproken wordt van een basisalternatief en ”andere” alternatieven / varianten. Het basisalternatief uit de startnota maakt deel uit van het hoofdalternatief via de E403.

3.1. Macroniveau

Bundelen met en/of hergebruik

Vraag om (maximaal) (her)gebruik van en/of bundelen met bestaande hoogspanningslijnen en/of het tracé zo veel mogelijk te bundelen met snel- en hoofdwegen, waterwegen, spoorlijnen en industriezones. Specifieke voorbeelden die aangereikt zijn:

- **Bundelen via waterwegen (bijv. via kanaal Plassendale-Nieuwpoort naar de IJzer, dan naar het kanaal Roeselare-Leie tot Bossuit-Kortrijk) of via andere kanalen, Schelde, of havens;**
- **Bundelen met een nieuwe autoverbindingsweg tussen Ieper en E40, en verder naar de kust;**
- **Bundelen met/via industriezones en kanaalstroken (bijv. kanaal Oostende-Brugge) [als tussenzones thv bewoning en agrarische infrastructuur, deze ondergronds voorzien]:**
- **Aanleg boven de autosnelweg;**
- **Bundelen met spoorlijn t.h.v. Zedelgem en verder, afwijken t.h.v. bebouwde zones.**

Binnen het planproces worden een aantal ruimtelijke principes gehanteerd, waaronder het versterken van bestaande lijnen, het herbenutten van bestaande lijnen/tracés, het bundelen met bestaande lijnvormige structuren en de bundeling van functies. Het bundelingsprincipe is één van de principes dat, in uitvoering van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, wordt toegepast voor Ventilus. De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid in hoofdstuk 5 van de

scopingnota ‘toepassen ruimtelijke principes en afstandsvereisten’. Daarnaast worden een aantal concrete voorbeelden aangehaald:

- Een bundeling via waterwegen kan op twee manieren geïnterpreteerd worden. In een eerste interpretatie gaat men uit van een ligging van een kabel in de waterweg. Dit wordt omwille van veiligheid, onderhoud en plaatsgebrek echter niet beschouwd als een redelijk alternatief. Kabels in een bevaren rivier zijn kwetsbaar. Of het stroom- of internetkabels zijn, een beschadiging van de kabels is voor heel veel mensen en bedrijven problematisch. Om beschadiging te voorkomen wordt ervoor gezorgd dat elke kabel minimaal een dekking (sedimentlaag) van twee meter heeft. Rondom de kabels kan niet worden gebaggerd om gevaarlijke situaties te vermijden. Zo blijft het risico op beschadiging minimaal en ligt de kabel stabiel. Door de continue sedimentatie van waterwegen is regelmatige baggering/ruiming noodzakelijk. Daarom worden kabels uiterst zelden in waterwegen aangelegd. De risico’s die dit voor de bevoorradingszekerheid van België met zich meebrengt, zijn voor een transmissieverbinding als Ventilus niet aanvaardbaar. Ten slotte is de beschikbare ruimte in waterwegen te beperkt voor de noodzakelijke breedte die vereist is voor de capaciteit van 6 GW.

  Een tweede interpretatie gaat uit van een bundeling (parallelle aanleg) met waterwegen. Dit kan zowel voor kabels als voor luchtlijnen. Een bundeling van een luchtlijn met hoofdwaterwegen als lijninfrastructuur van Vlaams niveau behoort tot de bundelingsmogelijkheden (zoals beschreven in hoofdstuk 5.3.4 van de scopingnota). De volgende aangehaalde waterwegen uit de inspraak behoren echter niet tot het hoofdwaterwegennet: kanaal Plassendale-Nieuwpoort, kanaal Roeselare-Leie, kanaal Bossuit-Kortrijk; en worden bijgevolg niet weerhouden voor bundeling met een nieuwe luchtlijn. De aansluiting van de zeehavens van Oostende en Zeebrugge op het hoofdwaterwegennet, wordt wel beschouwd als zijnde een hoofdwaterweg. Het RSV vermeldt echter dat er nog onderzoek moet plaatsvinden naar mogelijke alternatieven voor deze internationale verbindingsfunctie. Gezien deze alternatieven momenteel niet als hoofdwaterweg worden aangeduid, worden ze niet verder meegenomen als lijninfrastructuur van Vlaams niveau waarmee een nieuwe luchtlijn kan bundelen. Immers, zo zou er kunnen gekozen worden voor een bundeling met een lijninfrastructuur die momenteel geen lijninfrastructuur van Vlaams niveau is en dit ook nooit zal worden.

  Volgens het RSV moeten ondergrondse hoogspanningsleidingen onder andere gebundeld worden met lijninfrastructuren van lokaal of bovenlokaal niveau. Bij het uitwerken van effectieve lijntracés voor (gedeeltelijke) ondergrondse aanleg van kabels zal een bundeling met waterlopen dan ook onderzocht worden. Hier wordt dan niet bedoeld dat de kabels in de waterweg komen te liggen, maar net naast de waterweg.
- Gezien de nieuwe autoverbindingsweg tussen Ieper en de E40 nog niet bestaat en hiervoor ook nog geen tracé vastgesteld werd, en enkel gebundeld kan worden met bestaande lijnen en structuren, valt zij buiten de scope van de bundelingsmogelijkheden.
- Industriezones zijn geen lijnvormige structuren waarmee gebundeld kan worden. Een aantal industriezones komen daarentegen wel in aanmerking i.f.v. de locatie voor een nieuw hoogspanningsstation (zie hoofdstuk 6.3 van de scopingnota).
- Rekening houdend met de technische beperkingen worden ondergrondse hoogspanningsleidingen zo veel mogelijk aangelegd in leidingstroken en gebundeld met lijninfrastructuren van lokaal of bovenlokaal niveau, voor zover dit juridisch realiseerbaar is. Een bundeling met wegen, aangeduid als hoofdweg in het RSV, volgt het bundelingsprincipe van het structuurplan. In het planproces wordt ook rekening gehouden met de bouwvrije

stroken in functie van de weginfrastructuur zoals deze in de sectorale wetgeving vastgelegd zijn. Een aanleg boven een autosnelweg is niet opgenomen binnen de bundelingsmogelijkheden:

  - Een bovengrondse lijn is niet mogelijk boven de rijweg. De autosnelweg zou bij elk onderhoud van de hoogspanningslijn afgesloten moeten worden wat niet aanvaardbaar is.
  - Een ondergrondse lijn onder de rijweg wordt niet als een redelijk alternatief beschouwd. Aanleg en onderhoud van de hoogspanningslijn zou leiden tot de buitendienststelling van deze hoofdinfrastructuren. Het hypothekeren of limiteren van deze hoofdinfrastructuren wordt, gezien hun rol in het wegennet, niet als aanvaardbaar beschouwd.
  - De beschikbare ruimte in de middenberm is te beperkt voor de aanleg en onderhoud van de hoogspanningslijn, zowel bovengronds als ondergronds.

- Een bundeling met hoofdspoorwegen behoort tot de bundelingsmogelijkheden. De spoorlijn tussen Brugge en Kortrijk behoort tot het hoofdspoorwegennet en komt (gedeeltelijk) in aanmerking voor bundeling met de nieuwe hoogspanningsverbinding. In hoofdstuk 6 van de scopingnota 'Alternatieven' wordt deze bundeling echter niet meer weerhouden als een redelijk alternatief voor het verdere onderzoek.

Vraag om te bundelen met/ volgen van intensieve (hoge energiebehoefte) bedrijven, gelegen in West-Vlaanderen.

Transmissieverbindingen zoals Ventilus dienen om grote hoeveelheden elektriciteit te transporteren en zijn te onderscheiden van het distributienet dat verbindingen maakt naar de eindgebruikers. De meer energie-intensieve delen van West-Vlaanderen situeren zich in de zeehavens en de regio rond Roeselare-Izegem, die gevoed worden vanuit de post van Izegem.

Algemene vragen tot het onderzoeken van andere tracés (zonder concreter voorstel)

Vraag om gebruik van of zoeken naar andere tracés en dit vanuit het gegeven om minder impact op omwonenden, natuur,... te veroorzaken, waaronder:

- **Vraag om een tracé doorheen de polders als alternatief voor een tracé langs de E403.**
- **Vraag om een tracé doorheen minder/niet bewoond gebied.**
- **Vraag om valabele opties doorheen poldergebied niet zomaar laten vallen**.

Vanuit de reacties binnen de publieke raadpleging is de set aan alternatieve tracés sterk uitgebreid en gediversifieerd. Elk ingesproken alternatief werd getoetst aan de plandoelstellingen en de ruimtelijke principes. De alternatieven die op dit moment nog als redelijk zijn weerhouden, zullen tijdens het verdere planproces nog verder onderzocht worden binnen het geïntegreerd onderzoek om de te verwachte impact van elk onderzocht tracé duidelijker in kaart te brengen.

- De vraag om een tracé doorheen de polders als alternatief voor een tracé langs de E403 en de vraag om valabele opties doorheen het poldergebied worden beide geïnterpreteerd als een vraag om een alternatief via Koksijde te onderzoeken. Dit alternatief zal inderdaad verder onderzocht worden.
- In de milieueffectbeoordeling zal rekening gehouden worden met de woondichtheid in de omgeving van de mogelijke tracés in die zin dat de visuele hinder voor omwonenden en het

aantal woningen binnen de 0,4 µT (magnetisch veld) contour van de mogelijke tracés in beeld zal gebracht worden.

Via Frankrijk

Vraag om de West-Vlaamse lus te vervolledigen via (het noorden van) Frankrijk en de kust van de Noordzee.

Omwille van de ligging van de postlocatie van het Stevin-hoogspanningsstation nabij de kust zou men ook kunnen overwegen om de 6GW verbinding met een kabelverbinding via de Noordzee te laten lopen. Zoals uit de studies naar de beschikbare technologieën gebleken is, is deze afstand niet overbrugbaar met een 380kV-kabelverbinding. 220kV-kabelverbindingen komen voor een 6GW verbinding niet in aanmerking, zoals ook de experten in de dubbelcheck technologie bevestigden.

De veilige exploitatie van een dergelijke verbinding wordt ook belemmerd omwille van de kruising van alle kabels (energie, telecom, …) en pijpleidingen die via de zee aan land komen alsook van de vaarroutes. Deze piste wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie bijlage 4_4 Elia Technologiestudie 2018 en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

De vraag om de hoogspanningsverbinding niet in België maar in/via Frankrijk te realiseren wordt beantwoord in de volgende vraag.

Vraag om een aanlanding in Frankrijk (bijv. regio Gravelines) en van daaruit het tracé aan te leggen via het bestaande hoogspanningsnetwerk naar Avelin en Avelgem.

De geplande bijkomende offshore energieproductiezones liggen verspreid in het Belgische deel van de Noordzee en liggen in het westen tot tegen het Franse deel van de Noordzee. Een aanlanding van de elektriciteit van de nieuwe productiezones op grondgebied van Frankrijk lijkt dan op het eerste zicht een te overwegen oplossing.

We maken in de onderstaande afweging even abstractie van de offshore Natura2000-gebieden die doorkruist dienen te worden voor een aanlanding in Frankrijk.

De eerste vraag die moet worden gesteld bij een mogelijke aansluiting op Frankrijk is of er wel voldoende onthaalcapaciteit aanwezig is in het Franse net. Om dit na te gaan werd navraag gedaan bij RTE, de Franse netbeheerder. Op de website van de Franse netbeheerder wordt een kaart[8] gepubliceerd met de beschikbare onthaalcapaciteit in Frankrijk. Op deze kaart staat nog een potentieel van 2000 MW aangegeven in de betreffende regio. RTE heeft bijkomend geduid dat de kaart dateert van september 2016 en geen rekening houdt met de recentere ontwikkelingen in die regio. In het Franse deel van de Noordzee zijn ondertussen belangrijke ontwikkelingen gepland: enerzijds worden er ook in Frankrijk offshore windparken gebouwd (onder andere in de regio Duinkerke), en anderzijds is er een bijkomende HVDC interconnector met het Verenigd Koninkrijk gepland in het onderstation van Warandes (Gridlink, 1400 MW). Deze projecten noodzaken eveneens onthaalcapaciteit aan de Franse kust en nemen de volledige beschikbare capaciteit in beslag.

[8] http://clients.rte-france.com/lang/fr/clients_producteurs/services_clients/offre_raccord_prod_carte_400.jsp

De huidige planningen in rekening nemend, is het bestaande potentieel in het noorden van Frankrijk reeds gesatureerd en is er geen bijkomende onthaalcapaciteit aan de Noord-Franse kust.
Voldoende onthaalcapaciteit (+/- 2000 MW benodigd voor de geplande Belgische offshore productie) kan alleen ontstaan indien de geplande Franse projecten zouden wegvallen en/of wanneer een deel van de kerncentrales van Gravelines gesloten zou worden. Op dergelijke hypotheses kan niet vertrouwd worden voor de ontwikkeling van Belgische productie-eenheden. Er is geen enkele aanwijzing dat een aansluiting via Frankrijk haalbaar is qua onthaalcapaciteit.

Los van het ontbreken van beschikbaarheid aan onthaalcapaciteit zijn er belangrijke nadelen voor de Belgische consumenten en voor de netstabiliteit verbonden aan een aanlanding in Frankrijk. Indien de Belgische windparken aangesloten zouden worden op de Franse regelzone zou dit betekenen dat de geproduceerde windenergie vermarkt wordt in de Franse biedzone. De prijsvoordelen van de offshore windenergie zijn hierbij voor de Franse consumenten terwijl eventuele kosten door de Belgische consumenten betaald zullen worden. De Belgische consument zal niet rechtstreeks kunnen genieten van deze capaciteit aangezien zij - net als eender welke andere Franse productiecapaciteit - zal moeten ingevoerd worden via de bestaande interconnectoren (en daarmee dus zal moeten concurreren). Het is daarom ook geen bijdrage in de versterking van de Belgische energiebevoorrading.
Conclusie: zelfs als de aansluiting van de offshore de enige doelstelling van het plan zou zijn, dan zou deze oplossing niet beschouwd worden als een redelijk alternatief wegens het ontbreken van de noodzakelijke aansluitcapaciteit en ontbreken van enig voordeel inzake de stroomzekerheid van het land.

Via de Haven van Antwerpen en/of Gent

Vraag om een tracé via de haven van Antwerpen/Scheldemonding of haven van Gent door middel van een zeekabel (eventueel gelijkstroom) om van daaruit aan te sluiten op huidig hoogspanningsnetwerk.

Het antwoord op deze vraag is opgenomen in de scopingnota (paragraaf 6.9 niet weerhouden alternatieven).

Via de kust, richting Gent of Antwerpen

Vraag om een tracé langs/via E40 of E34, richting (haven van) Gent.

Het antwoord op deze vraag is opgenomen in de scopingnota (paragraaf 6.9 niet weerhouden alternatieven).

Via Aalter – Tielt

Vraag om een tracé via Aalter – Tielt

Een alternatief waarbij er vanuit Brugge gebundeld wordt met de E40 tot in Aalter om vervolgens te bundelen met de N37/N35 tot in Tielt/Pittem wordt onderzocht in het hoofdalternatief via de E40 (zie hoofdstuk 6.5.5 van de scopingnota).

Een alternatief waarbij er vanuit Brugge gebundeld wordt met de bestaande Stevin-as tot Eeklo-Noord, om van daaruit naar het zuiden te gaan via herbenutting van bestaande 150 kV-lijnen en/of bundeling met primaire wegen (N37/N35), wordt onderzocht in het hoofdalternatief via Eeklo-Aalter-Tielt (zie hoofdstuk 6.5.6 van de scopingnota).

Via Nieuwpoort naar Izegem/Avelgem

Vraag tot hergebruik van bestaande traject tussen Nieuwpoort en Izegem

Nieuwpoort werd niet weerhouden als een haalbare aanlandingslocatie gezien deze locatie niet beantwoordde aan de juridische randvoorwaarden, waaronder geen ligging in natuurreservaten of beschermde gebieden, (zie bijlage 4.2 Tractebel, Locatiestudie "Ventilus" aanlanding zeekabels, februari 2019). Er zijn evenmin bestaande tracés tussen Nieuwpoort en Izegem. Wellicht wordt hier het tracé tussen Koksijde en Izegem bedoeld (zie volgende vragen).

Via Koksijde naar Izegem/Avelgem

Vraag om tracé via de Westhoek, via de IJzervallei, met het traject via (aanlanding) Koksijde.

De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem (via de IJzervallei) maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus verder onderzocht (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust Koksijde - De Panne, richting Avelgem, met het hoogspanningsstation rond Veurne of de luchtmachtbasis van Koksijde.

De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus verder onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota). De Panne werd niet weerhouden als haalbare aanlandingslocatie gezien deze locatie niet beantwoordde aan de juridische randvoorwaarden, waaronder geen ligging in natuurreservaten of beschermde gebieden. Koksijde werd wel weerhouden (zie bijlage 4.2 Tractebel, Locatiestudie "Ventilus" aanlanding zeekabels, februari 2019). Er worden in dit geval twee locaties voor het hoogspanningsstation onderzocht, met name te Koksijde en te Veurne (zie hoofdstuk 6.3. van de scopingnota). Een locatie op het Militair Domein van Koksijde wordt niet weerhouden, gezien de realisatie van een hoogspanningsstation conflicteert (o.a. beperking bouwhoogte) met de doelstellingen van het voorontwerp PRUP dat voor dit gebied momenteel wordt opgesteld.

Vraag om tracé via/over de luchtmachtbasis van Koksijde (een mogelijkheid om hier verbinding te voorzien met de zeekabels en de start van de bestaande hoogspanningslijn vanuit Koksijde).

De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus verder onderzocht (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota). Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden. Een aanlanding in Koksijde wordt onderzocht. Er worden in dit geval twee locaties voor het hoogspanningsstation onderzocht, met name te Koksijde en te Veurne (zie hoofdstuk 6.4 van de scopingnota). De realisatie van het nieuw te bouwen hoogspanningsstation TBD op het Militair Domein van Koksijde wordt niet verder onderzocht. In het voorontwerp PRUP voor dit dossier wordt namelijk overal een maximale bouwhoogte tot 15m opgelegd, wat ruim onvoldoende is voor de installaties welke noodzakelijk zijn ter hoogte van het hoogspanningsstation TBD.

Vraag om tracé met aanlanding op de kust in Koksijde met hergebruik van de bestaande lijnen tussen Koksijde, via Beveren (Roeselare) naar Avelgem.

Een aanlanding in Koksijde wordt onderzocht (zie hoofdstuk 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust in Koksijde met hergebruik van de bestaande lijnen tussen Koksijde, via Noordschote naar Izegem.

Een aanlanding in Koksijde wordt onderzocht (zie hoofdstuk 2.3.2 en 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem via Noordschote maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust in Koksijde, met hergebruik van de bestaande hoogspanningslijn van 150 kV richting Izegem, met inlussing Stevin via een nieuwe luchtlijn parallel aan de E40 van Koksijde naar Jabbeke en dan aansluiten op de bestaande lijn Brugge-Zedelgem.

Een aanlanding in Koksijde wordt onderzocht (zie hoofdstuk 2.3.2 en 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht, inclusief een inlussing via de E40 richting Brugge (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust van Koksijde (wisselstroomverbinding vanaf windmolenpark) met gebruik van het bestaande traject van Koksijde, via Noordschote naar Izegem en de verbinding van 3 GW voor de kust van Zeebrugge naar Koksijde.

Vraag om de verbinding tussen Koksijde en Oostende of Zeebrugge via de zee te realiseren

Er is een behoefte aan een verbinding van 6 GW. Omwille van de ligging van de postlocatie van het Stevin-hoogspanningsstation nabij de kust zou men er ook voor kunnen opteren om de 6GW verbinding met een kabelverbinding via de Noordzee te laten lopen tot in Oostende of Koksijde.

Een verbinding langsheen de Noordzee is niet weerhouden. Zoals uit de studies naar de beschikbare technologieën gebleken is, is deze afstand niet overbrugbaar met een 380kV-kabelverbinding. 220kV-kabelverbindingen komen voor een 6GW verbinding niet in aanmerking, zoals ook de experten in de dubbelcheck technologie bevestigden. Een 6GW verbinding zou 17 driefasige 220 kV-verbindingen vereisen die samen een kabelcorridor van 2,5 km breedte nodig hebben. Op de aanlandingsplaatsen aan het strand zou de benodigde breedte 800 m zijn. Bovendien moet daarbij nog een strook van 250m voorzien worden voor de aanlanding van de kabels die van de productieparken zullen komen. Vanaf het land tot aan de mogelijke postlocatie dienen de zeekabels eenfasig te worden aangelegd wat overeenkomt met 51 parallelle kabels. Dit is geen realistische oplossing. In de hoogspanningsstations zouden een tiental transformatoren en een twintigtal shunt reactoren vereist zijn waardoor de oppervlaktes van de stations verdriedubbelen en de geluidsniveaus sterk toenemen.

De veilige exploitatie van een dergelijke verbinding wordt ook belemmerd omwille van de kruising van alle kabels (energie, telecom, …) en pijpleidingen die via de zee aan land komen alsook van de vaarroutes. Deze piste wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018 en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Een aanlanding in Koksijde wordt wel onderzocht (zie hoofdstuk 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem via Noordschote maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust van Koksijde (gelijkstroomverbinding vanaf windmolenpark) met gebruik van het bestaande traject van Koksijde, via Noordschote naar Izegem en de verbinding van 3 GW in zee en de windmolenparken onderling. Alsook een extra verbinding tussen bestaande windmolenparken en Zeebrugge (zwaarder uitvoeren als nodig in functie van de lus).

Er is behoefte aan een transportcapaciteit van 6GW. Een verbinding tussen de knooppunten op zee onderling of van het bestaande knooppunt op zee (MOG I) naar Zeebrugge kan nuttig zijn voor bijkomende redundantie. Hierbij onderzoekt men echter een veel lager vermogen van ongeveer 350MW en dit kan geenszins de broodnodige lus van 6GW vervangen.

Een aanlanding in Koksijde wordt wel onderzocht (zie hoofdstuk 2.3.2 en 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem via Noordschote maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3 van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust van Koksijde en dan naar Izegem en het bestaande windmolenpark met de kabel verbinden met Koksijde, om redundantie te hebben als de aansluiting met Zeebrugge uitvalt.

De Ventilus-lijn zal enerzijds redundantie bieden voor de Stevin-lijn, maar op zijn beurt zal de Stevin-lijn ook redundantie bieden voor een incident op de Ventilus-lijn (zie hoofdstuk 1.3 van de scopingnota). Zoals in hoofdstuk 1.3 van de scopingnota ook wordt uitgelegd, heeft deze lus een transportcapaciteit nodig van 6GW.

Een verbinding langsheen de Noordzee is niet weerhouden. Zoals uit de studies naar de beschikbare technologieën gebleken is, is deze afstand niet overbrugbaar met een 380kV-kabelverbinding. 220kV-kabelverbindingen komen voor een 6GW verbinding niet in aanmerking, zoals ook de experten in de dubbelcheck technologie bevestigden. Een 6GW verbinding zou 17 driefasige 220 kV-verbindingen vereisen die samen een kabelcorridor van 2,5 km breedte nodig hebben. Op de aanlandingsplaatsen aan het strand zou de benodigde breedte 800 m zijn. Bovendien moet daarbij nog een strook van 250m voorzien worden voor de aanlanding van de kabels die van de productieparken zullen komen. Vanaf het land tot aan de mogelijke postlocatie dienen de zeekabels éénfasig te worden aangelegd wat overeenkomt met 51 parallelle kabels. Dit is geen realistische oplossing. In de hoogspanningsstations

zouden een tiental transformatoren en een twintigtal shunt reactoren vereist zijn waardoor de oppervlaktes van de stations verdriedubbelen en de geluidsniveaus sterk toenemen.

De veilige exploitatie van een dergelijke verbinding wordt ook belemmerd omwille van de kruising van alle kabels (energie, telecom, …) en pijpleidingen die via de zee aan land komen alsook van de vaarroutes. Deze piste wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018 en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Een aanlanding in Koksijde wordt wel onderzocht (zie hoofdstuk 6.2 van de scopingnota). De herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus eveneens onderzocht. Vanaf Izegem kan de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem dan versterkt worden (zie hoofdstuk 6.5.3 van de scopingnota).

Vraag om tracé met aanlanding op de kust van Koksijde, een nieuw traject langsheen de grens met Frankrijk.

Een alternatief met aanlanding in Koksijde wordt weerhouden voor het verdere onderzoek (zie hoofdstukken 2.3.2 en 6.2 van de scopingnota). Om vanuit Koksijde de verbinding te maken met Izegem wordt in eerste plaats gekeken naar mogelijkheden van herbenutting of bundeling met lijninfrastructuur (toepassen van de ruimtelijke principes, zie hoofdstuk 5 van de scopingnota). De grens tussen Frankrijk en België wordt niet beschouwd als een lijninfrastructuur waarmee kan gebundeld worden.

Vraag om tracé met aanlanding via een westelijk gelegen kuststad

Een aanlanding in Koksijde wordt onderzocht, dit is de enige locatie ten westen van Oostende die technisch haalbaar wordt geacht, zie hoofdstuk 2.3.2 en 6.2 van de scopingnota.

Via Zeebrugge of Oostende naar Koksijde en van daaruit naar Izegem/Avelgem

Vraag om tracé tussen Zeebrugge en Koksijde, en dan hergebruik bestaand traject naar Izegem (of Avelgem)

Deze mogelijkheid maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus weerhouden voor het verdere onderzoek (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota). Een 6GW kabelverbinding langs de Noordzee wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018 en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Vraag om tracé met aanlanding in Oostende, een verbinding naar Koksijde en dan het bestaand traject naar Izegem/Avelgem hergebruiken.

Deze mogelijkheid maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus weerhouden voor het verdere onderzoek (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota). Een 6GW kabelverbinding langs de Noordzee wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk

beschouwd (zie bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018 en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Vraag om de bestaande lijn tot Avelgem te verzwaren, alsook een lijnverbinding tussen Oostende en Koksijde door de Noordzee.

De mogelijkheid tot herbenutting van de bestaande 70 kV en 150 kV lijnen tussen Koksijde en Roeselare/Izegem, en van daaruit de versterking van de bestaande lijn tussen Izegem en Avelgem maakt deel uit van het hoofdalternatief via Koksijde en wordt dus weerhouden voor het verdere onderzoek. Ingeval een hoogspanningsstation TBD in Oostende wordt voorzien, is bijkomend een hoogspanningsverbinding nodig tussen Koksijde/Veurne en Oostende (zie hoofdstuk 6.5.3. van de scopingnota).

Een verbinding langsheen de Noordzee is niet weerhouden Zoals uit de studies naar de beschikbare technologieën gebleken is, is deze afstand niet overbrugbaar met een 380kV-kabelverbinding. 220kV-kabelverbindingen komen voor een 6GW verbinding niet in aanmerking, zoals ook de experten in de dubbelcheck technologie bevestigden. Een 6GW verbinding zou 17 driefasige 220 kV-verbindingen vereisen die samen een kabelcorridor van 2,5 km breedte nodig hebben. Op de aanlandingsplaatsen aan het strand zou de benodigde breedte 800 m zijn. Bovendien moet daarbij nog een strook van 250m voorzien worden voor de aanlanding van de kabels die van de productieparken zullen komen. Vanaf het land tot aan de mogelijke postlocatie dienen de zeekabels éénfasig te worden aangelegd wat overeenkomt met 51 parallelle kabels. Dit is geen realistische oplossing. In de hoogspanningsstations zouden een tiental transformatoren en een twintigtal shunt reactoren vereist zijn waardoor de oppervlaktes van de stations verdriedubbelen en de geluidsniveaus sterk toenemen.

De veilige exploitatie van een dergelijke verbinding wordt ook belemmerd omwille van de kruising van alle kabels (energie, telecom, …) en pijpleidingen die via de zee aan land komen alsook van de vaarroutes. Deze piste wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie bijlage 4 (bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018) en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Parallel aan Stevin (Stevin-Horta-Avelgem)

Vraag om ontdubbeling binnen het bestaande tracé Van Maerlant - Horta – Avelgem. Vraag om versterken van het bestaande tracé naar Eeklo. Vraag om tracé naast de lijn Stevin (Zeebrugge - Zomergem - Avelgem).

De Stevin-lijn tussen Zeebrugge en Zomergem (Horta) wordt momenteel ten volle benut en is reeds maximaal versterkt. De lijn tussen Horta en Avelgem is momenteel eveneens maximaal versterkt.

Een alternatief dat parallel loopt met de Stevin-lijn (Zeebrugge - Horta) en de lijn Horta-Avelgem maakt deel uit van het hoofdalternatief ‘parallel met Stevin en Horta-Avelgem’ en zal dus verder onderzocht worden (zie hoofdstuk 6.5.4 van de scopingnota).

Vraag om een upgrade van de 150 kV lijnen die parallel lopen met het bestaand 380 kV tracé naar Gent en Avelgem.

De mogelijkheid van een tracé parallel aan de bestaande 380-kV-lijnen wordt als alternatief meegenomen. Waar hier in de referentiesituatie een 150 kV-lijn aanwezig is wordt mee onderzocht of die herbenut kan worden. Dit maakt deel uit van het hoofdalternatief parallel met Stevin en Horta-Avelgem en zal dus verder onderzocht worden (zie hoofdstuk 6.5.4 van de scopingnota).

3.2 Mesoniveau

Aanlanding

Vraag naar een onderzoek van alle mogelijke aanlandingsplaatsen, o.a. ten zuiden/westen van Oostende (tot aan de Franse grens).

De in aanmerking komende aanlandingslocaties werden in de startnota opgenomen, en dit op basis van twee voorstudies. De mogelijke aanlanding te Koksijde werd daarin niet weerhouden. In de scopingnota wordt deze mogelijkheid wel weerhouden voor verder onderzoek (zie hoofdstuk 2.3.2 van de scopingnota). Er waren, o.b.v. de randvoorwaarden zoals vooropgesteld in de voorstudies, geen andere locaties die ten zuiden van Oostende in aanmerking kunnen komen voor een aanlanding.

Vraag om onderzoek van de mogelijkheid om aan te landen via de havengeul van Oostende tot aan site Plassendale.

De havengeul van de haven van Oostende is niet geschikt voor de aanlanding van de kabels omwille van veiligheid, onderhoud en plaatsgebrek. Door de werken zou de toegang tot de haven en de werking van de haven zelf gedurende langere periode onderbroken zijn. Kabels in een bevaren waterweg zijn kwetsbaar. Of het stroom- of internetkabels zijn, een beschadiging van de kabels is voor heel veel mensen en bedrijven problematisch. Om beschadiging te voorkomen wordt ervoor gezorgd dat elke kabel minimaal een dekking (sedimentlaag) van twee meter heeft. Rondom de kabels kan niet worden gebaggerd om gevaarlijke situaties te vermijden. Zo wordt het risico op beschadiging beperkter en ligt de kabel stabiel. Door de continue sedimentatie van waterwegen (dus ook de havengeul) is regelmatige baggering/ruiming noodzakelijk. De exploitatie nadien zal altijd zeer precair blijven, onder meer door het verhoogde risico op schade bij (nood)ankering door schepen en de onmogelijkheid van baggerwerken om de watergeul bevaarbaar te houden. Daarom worden kabels uiterst zelden in waterwegen aangelegd. De risico's die dit voor de bevoorradingszekerheid van België met zich meebrengt, zijn voor een transmissieverbinding als Ventilus niet aanvaardbaar. Ten slotte is de beschikbare ruimte in het achterliggende kanaal onvoldoende breed om alle kabels naast elkaar te leggen, die vereist zijn voor de capaciteit van 6 GW.

Vraag naar onderzoek van een aanlanding tussen Bredene en De Haan, door landbouwgebied naar Plassendale (de aankomst van de zeekabels buiten de bebouwde kom van Bredene en Oostende houden, vermijden van omslachtige aanleg doorheen woongebied naar de achterhaven van Oostende, vermijden van meest westelijke zone van Fort Napoleon omwille van diverse natuurontwikkeling en kustbeschermingsinitiatieven).

De technisch mogelijke aanlandingsplaatsen die worden onderzocht, zijn opgelijst onder hoofdstuk 2.3.2 van de scopingnota. Een technisch mogelijke aanlanding is die van De Haan – Vosseslag, en dit in combinatie met een postlocatie in Noord-Brugge (noordelijke variant 6, zie hoofdstuk 6.5.1.5 van de scopingnota) of in combinatie met een postlocatie in Oostende (zie hetzelfde hoofdstuk van de

scopingnota). De aanlandingslocatie ligt tussen de kern van De Haan en Bredene. Tijdens het verder planproces zullen mogelijke tracés uitgewerkt worden voor de ondergrondse kabelverbinding.

Voor de mogelijke aanlandingsplaatsen t.h.v. Bredene en Oostende (noordelijke varianten 8, 9 en 10, zie hoofdstuk 6.5.1.7-9 van de scopingnota) zullen tijdens het verder planproces eveneens mogelijke tracés uitgewerkt worden voor de ondergrondse kabelverbinding van de aanlanding tot de postlocatie.

In beide gevallen zal in de eerste plaats gezocht worden naar mogelijkheden om te bundelen met bestaande lijnelementen.

De mogelijke impact van het planvoornemen zal onderzocht worden binnen de effectbeoordelingen. Hierbij zal de focus liggen op de permanente (aanzienlijk) negatieve effecten. Eventuele tijdelijke effecten als gevolg van aanleg zullen pas in beeld gebracht worden wanneer de projectkenmerken in detail beschikbaar zijn (in concreto tijdens de omgevingsvergunningsaanvraag, inclusief project-MER).

Locatie hoogspanningsstation

Vraag om terreinen te overwegen met een andere huidige bestemming, bij voorkeur in de zeer nabije omgeving van (in plaats van in) het havengebied, om te herbestemmen in functie van de locatie voor de hoogspanningsstations. Percelen geschikt voor watergebonden activiteiten zijn te vermijden wegens beperkte beschikbaarheid, de zone ten zuiden van productiecentrale Herdersbrug komt in aanmerking voor de inplanting van het hoogspanningsstation.

Bij de locatiebepaling voor de hoogspanningsstations wordt rekening gehouden met het tegengaan van de verdere versnippering van het buitengebied. Er wordt gezocht naar geschikte locaties ter hoogte van gebieden met activiteiten met gelijkaardige ruimtelijke kenmerken of met zones die hiervoor bestemd zijn. Concreet wordt in de eerste plaats gezocht naar zones met een harde bestemming, zoals industriezones of zones voor gemeenschapsvoorzieningen en openbaar nut. Deze locaties bevinden zich zowel binnen als buiten havengebied.

Verbinding tussen aanlanding of tussenstation (Oostende) en TBD

Vraag om tracé te voorzien buiten de historisch permanente graslanden.

De mogelijke invloed op historisch permanente graslanden zal besproken worden in de plan-MER en er zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

Vraag om tracé ten noorden van de N9 te voorzien (minder poldergraslanden), bij noodzaak doorsnijden van poldergrasland, door middel van boring.

Het volledige poldergebied tussen Oostende en Brugge maakt deel uit van het onderzoeksgebied voor het aanleggen van ondergrondse verbindingen. Hierbij zal de mogelijke invloed op historisch permanente graslanden besproken worden en zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

De vervanging van de bestaande 150 kV verbinding Slijkens-Waggelwater in het basisalternatief kan ook in de meeste andere gelijkwaardige alternatieven (1 t/m 8) gerealiseerd worden, en dit in functie van de meerwaarde voor natuur en landschap.

Het ondergronds brengen van de bestaande 150 kV-lijn tussen Oostende en Brugge maakt deel uit van het planvoornemen. Bij de noordelijke varianten 1 tot en met 11, uitgezonderd noordelijke variant 9 betekent dit het definitief verdwijnen van een bovengrondse hoogspanningsverbinding (zie hoofdstuk 6.5 van de scopingnota). In het geval van de noordelijke variant 9 zal het bovengronds tracé van de 150 kV lijn herbenut worden i.f.v. een nieuwe 380 kV lijn.

TBD in Oostende of Bredene

Vraag om de onderzoekszone ter hoogte van Stalhille op te schuiven richting de N377 (bundeling).

In de startnota werd vermeld dat de verbinding indicatief ingetekend werd en dat bij het verdere onderzoek gezocht zou worden naar mogelijkheden van bundeling, vb met de N377. Ten opzichte van de startnota werd de corridor ter hoogte van Stalhille verruimd, waardoor gezocht kan worden naar mogelijkheden die het overspannen van de dorpskern van Stalhille vermijden en die zoveel mogelijk bundelen met bestaande lijnelementen zoals bijv. de N377 in de noordelijke variant 9b. Deze vraag wordt bijgevolg verder onderzocht, zie §6.5.2.1 en §6.6 van de scopingnota.

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.

Vraag om de corridor in variant 9b te verruimen, zodat een rechte lijn kan getrokken worden vanaf de te herbenutten 150 kV-lijn tot aan de bestaande te versterken lijn in Zedelgem.

In de startnota werd vermeld dat de verbinding indicatief ingetekend werd en dat bij het verdere onderzoek gezocht zou worden naar mogelijkheden van bundeling, vb met de N377. Ten opzichte van de startnota werd de corridor ter hoogte van Stalhille verruimd, waardoor het maken van de voorgestelde rechte lijn theoretisch mogelijk is bij de noordelijke variant 9b, zie §6.5.2.1 en §6.6 van de scopingnota.

Vraag om te bundelen met de autosnelweg (A10-E40) of de spoorlijn (Oostende-Brugge) en de zoekzone aldaar verbreden.

In de noordelijke variant 9c, waarbij het hoogspanningsstation TBD voorzien wordt te Oostende, is het realiseren van een bovengrondse hoogspanningsverbinding gebundeld met de A10/E40 of de spoorweg Oostende-Brugge één van de verder te onderzoeken varianten, zie §6.5.2.1 van de scopingnota.

TBD in Zeebrugge of Brugge

Vraag tot een aanlanding in Zeebrugge en de leidingen via het achterste gedeelte van de haven (eventueel via een nutszone) naar het hoogspanningsstation De Spie te leiden (geen extra landbouwgrond belasten met masten of ondergrondse kabels).

Aanlanding in Zeebrugge is een van de te onderzoeken mogelijkheden. Het westelijke deel van het zeehavengebied van Zeebrugge maakt deel uit van het onderzoeksgebied voor het aanleggen van ondergrondse verbindingen. Zowel ten oosten als ten westen van het Boudewijnkanaal zijn reeds ondergrondse leidingen aanwezig. De effecten van de aanwezigheid van masten of ondergrondse kabels op landbouwgebruik maken deel uit van het milieueffectenonderzoek, waarbij er, indien noodzakelijk, milderende maatregelen zullen worden voorgesteld worden.

Vraag tot het zoeken van een alternatieve locatie in plaats van De Spie (buiten de poldergraslanden). Er worden verschillende locaties onderzocht voor de realisatie van deze post (zie hoofdstuk 6.3 van de scopingnota). Hierbij zal de mogelijke invloed op historisch permanente graslanden besproken worden en zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

Verbinding West-Brugge en Torhout

Vraag om de kortste weg van de E403 naar het noorden toe, over Sint-Andries (Brugge). Vraag tot traject vanaf Waggelwater langs de N31 tot de E403 en verder tot in Ardooie.

In toepassing van de ruimtelijke principes van het RSV wordt in eerste instantie nagegaan of er gebruik kan gemaakt worden van bestaande masten en of er bestaande tracés kunnen herbenut worden, daarnaast wordt ook gezocht naar een bundeling met bestaande (hoofd)structuren en moet het overspannen van een grote concentratie woningen worden vermeden.

In voorliggend geval kunnen de bestaande masten van de bestaande lijn tussen Gezelle en Zedelgem gebruikt worden voor het realiseren van de 380 kV-verbinding, waardoor deze oplossing in eerste instantie de voorkeur krijgt.

De N31 werd in het RSV aangeduid als een primaire weg cat. I en komt gezien de ligging en oriëntering in aanmerking als een lijninfrastructuur van Vlaams niveau om een nieuwe bovengrondse hoogspanningslijn mee te bundelen (zie §5.3.2 van de scopingnota). In een volgende stap werd nagegaan welke bundeling als redelijk kan beschouwd worden door rekening te houden met het voorzorgsbeginsel waarbij het (nieuw) overspannen van woningen en (onbebouwde) bebouwbare percelen zoveel mogelijk moet worden vermeden. De N31 tussen Brugge-Waggelwater en het complex E40/E403 werd niet weerhouden omdat deze weg dwars doorheen een dicht bevolkt gebied van Brugge loopt en dus een grote concentratie aan woningen kruist die niet kunnen vermeden worden, ook niet met een beperkt afwijken van het bundelingsprincipe.

Vragen betreffende de zoekzone en het tracé t.h.v. Zedelgem (variant Moubekevallei): vraag om zoekzone te verruimen zodat met twee rechte lijnen en een hoekmast een nieuwe verbinding wordt gemaakt tussen bestaande te versterken lijn en de E403; vraag om het tracé tussen Groenhovebos en Plaisiersbos op te schuiven naar het noorden (bijvoorbeeld 400m, vrijwaren Groenhovebos); vraag om het tracé van E403 naar Zedelgem recht te trekken (opschuiven naar Hollevoorde); vraag tot een tracé ten noorden van ventweg en op/afrit E403 Torhout en richting oosten van de E403; vraag tot het uitbreiden van zoekzone richting Aartrijke (meer landbouwgrond); vraag tot het uitbreiden van de zoekzone richting Veldegem (minder bewoning, doorheen bos Veldegem); vraag om het tracé ten zuiden van Veldegem te voorzien; vraag om het tracé op te schuiven richting Plaisiersbos; vraag om het tracé op te schuiven naar het westen van het bos van Caloen.

Ten opzichte van de startnota wordt de corridor ter hoogte van Zedelgem verruimd, waardoor de vragen die hierboven gesteld werden, theoretisch kunnen ingevuld worden (zie §6.5.2.2 en §6.6 van de scopingnota). In het verder planproces zullen, o.b.v. de gekende kwetsbaarheden in deze corridor, meerdere lijntracés worden uitgewerkt en verder onderzocht op hun mogelijke voor- en nadelen (zie §9.3.3 van de scopingnota. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen worden voorgesteld om negatieve effecten ter hoogte van kwetsbare zones te vermijden of te beperken.

Vraag tot opname van een voorstel van tracé dat rekening houdt met omliggende woningen, waaronder deze in de Moubekevallei.

Ten opzichte van de startnota worden de corridors in zones met omliggende woningen verruimd, dit onder andere om meer mogelijkheden te creëren om een tracé te kunnen vinden dat maximaal het (nieuw) overspannen van woningen vermijdt. Voor de Moubekevallei zal het gevraagde alternatief bijgevolg deel uitmaken van het verdere onderzoek (zie §6.5.2.2 van de scopingnota).

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.1.

Vraag tot gebruik van het bestaande tracé tot aan Zedelgem-Zuidwege, om van daaruit de N368 door te steken tot aan de E403 (zuidoostelijke richting). Vraag tot gebruik van het bestaande tracé tot aan Zedelgem-Zuidwege om dan verderop te bundelen met (N368 tot aan) oprit Ruddervoorde.

In toepassing van de ruimtelijke principes van het RSV wordt nagegaan of er gebruik kan gemaakt worden van bestaande masten en of er bestaande tracés kunnen herbenut worden, daarnaast wordt ook gezocht naar een bundeling met bestaande (hoofd)structuren en moet het overspannen van een grote concentratie woningen maximaal vermeden worden.

In voorliggend geval kunnen de bestaande masten van de bestaande lijn tussen Gezelle en Zedelgem gebruikt worden tot net ten noorden van de N368. De N368 werd niet aangeduid als een hoofdweg of primaire weg in het RSV en komt dus in principe niet in aanmerking als een lijninfrastructuur van Vlaams niveau om een nieuwe bovengrondse hoogspanningslijn mee te bundelen. De N368 loopt door de kern van Zuidwege en omvat lintbebouwing. Als rekening gehouden wordt met het voorzorgsbeginsel waarbij het (nieuw) overspannen van woningen en (onbebouwde) bebouwbare percelen zoveel mogelijk moet worden vermeden (zie §6.4.1 van de scopingnota), dan kan het bundelen met de N368 geen redelijk alternatief vormen, gezien een nieuwe overspanning van een dicht bevolkt gebied niet kan vermeden worden door beperkt af te wijken van het bundelingsprincipe.

Vanaf de afbuiging van de bestaande lijn naar de N32 wordt een nieuw tracé gezocht naar de E403. In de variant ten noorden van Veldegem zal de corridor het industrieterrein tussen de Kuilputstraat en de Remi Claeysstraat kruisen om vervolgens een verbinding te maken met de E403, via het minder bebouwd gebied ten noorden van Veldegem tot de omgeving van het op- en afrittencomplex van Ruddervoorde (zie §6.5.2.2 van de scopingnota). De N368 loopt in het oosten doorheen deze variant.

Vraag tot gebruik van het bestaande tracé tot aan Zedelgem-Zuidwege, dan over de fabriek van New Holland en langs de Pierlapont naar de E403 (oostnoordoostelijke richting).

In toepassing van de ruimtelijke principes van het RSV wordt nagegaan of er gebruik kan gemaakt worden van bestaande masten en of er bestaande tracés kunnen herbenut worden, daarnaast wordt ook gezocht naar een bundeling met bestaande (hoofd)structuren en moet het overspannen van een grote concentratie woningen maximaal vermeden worden.

In voorliggend geval kunnen de bestaande masten van de bestaande lijn tussen Gezelle en Zedelgem gebruikt worden tot aan het eindpunt in Zuidschote. In de variant via Pierlapont zal vanaf dit eindpunt de corridor het industrieterrein ter hoogte van New Holland kruisen om vervolgens een verbinding te maken met de E403 via het minder bebouwd gebied ter hoogte van de Pierlaponthoek (zie §6.5.2.2 van de scopingnota).

Vraag om het traject recht te trekken tussen E403 en Zedelgem om de lengte van de hoogspanningslijn te verminderen.

In de variant Moubekevallei waar de corridor wordt verruimd behoort een recht tracé tussen het punt waar de bestaande lijn verlaten wordt en de E403 theoretisch tot de mogelijkheden (zie §6.5.2.2 van de scopingnota).

In het geval deze inspraakreactie zou betrekking hebben op een recht tracé vanaf het bestaande eindpunt van de hoogspanningslijn te Zedelgem tot aan de E403, dan kan deze niet weerhouden worden als redelijk. De bestaande lijn eindigt ten westen van Zuidwege (Zuidschote). Om de E403 in een rechte lijn te bereiken, dient de woonkern van Zuidwege of Veldegem of meerdere woonclusters tussen Zuidwege en Veldegem overspannen te worden. Als rekening gehouden wordt met het voorzorgsbeginsel waarbij het (nieuw) overspannen van woningen en (onbebouwde) bebouwbare percelen zoveel mogelijk moet worden vermeden (zie §6.4.1 van de scopingnota), dan kunnen we met een recht tracé nieuwe overspanningen van een dicht bevolkt gebied t.h.v. Zuidwege en Veldegem niet vermijden. Bijgevolg zal dit laatste niet verder onderzocht worden.

Vraag tot het volgen van het tracé van de vroegere A17 in ontwerpfase. Dit tracé gaat doorheen de Moubekevallei, maar geen gezinnen worden rechtstreeks getroffen.

Binnen het planproces worden een aantal ruimtelijke principes gehanteerd, waaronder het versterken van bestaande lijnen, het herbenutten van bestaande lijnen/tracés, het bundelen met bestaande lijnvormige structuren en de bundeling van functies. Het bundelingsprincipe is één van de principes dat, in uitvoering van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, wordt toegepast voor Ventilus. Artikel 2.1.2, § 3 van de VCRO, zoals van toepassing op voorliggend planproces, bepaalt dat de plannende overheid niet mag afwijken van het richtinggevend gedeelte van het RSV, tenzij omwille van onvoorziene ontwikkelingen van de ruimtelijke behoeften van de verschillende maatschappelijke activiteiten of omwille van dringende sociale, economische of budgettaire redenen.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 van de scopingnota. Het tracé om de A17 m.b.v. een westelijke bocht via Torhout-Jabbeke de verbinding te laten maken met Zeebrugge is niet weerhouden in het verleden, het tracé werd hiervoor nooit volledig vastgesteld in een plan van aanleg. Er is op het gewestplan wel een reservatiestrook voor infrastructuur voorzien, lopende vanaf de E40 t.h.v. de bestaande op- en afrit 6b Jabbeke, ten westen van de kern van Snellegem tot aan Vloethemveld.

Cfr. de ruimtelijke principes uit het RSV kan enkel gebundeld worden met bestaande lijnen en structuren, waardoor bundelen met een ontwerp A17 van enkele decennia geleden of een gedeeltelijke reservatiestrook voor infrastructuur op het gewestplan, buiten de scope van de bundelingsmogelijkheden valt. Geplande hoogspanningslijnen zijn niet gelijk te stellen met bestaande hoogspanningslijnen. In dat verband kan bijvoorbeeld worden verwezen naar het besluit van de Vlaamse Regering van 5 mei 2000 tot aanwijzing van de handelingen in de zin van artikel 4.1.1, 5°, artikel 4.4.7, § 2, en artikel 4.7.1, § 2, tweede lid, van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening (hierna: het "*Besluit Handelingen Algemeen Belang*"), waarin een onderscheid wordt gemaakt tussen geplande en bestaande lijnen. De notie "*gepland*" wordt in dit besluit omschreven als "*hetzij vergund en nog niet uitgevoerd, als de aanvraag wordt ingediend binnen de geldigheidstermijn van de initiële omgevingsvergunning; hetzij opgenomen in geldende plannen van aanleg of ruimtelijke uitvoeringsplannen*" (art. 1/1, 3° Besluit Handelingen Algemeen Belang). Het RSV heeft het enkel over bestaande lijnen, niet over geplande. Binnen de reservatiestrook op het gewestplan zijn op vandaag overigens meerdere woningen aanwezig.

Vraag om ter hoogte van het afrittencomplex Torhout de E403 niet te dwarsen (gezien de aanleg van nieuwe/recente woonwijken nabij, diverse bestaande woningen in de omgeving en het hogedrukgasstation van Fluxys langs de oostzijde van de E403), en een deel in te nemen van het Groenhovebos (om te compenseren elders).

In de omgeving van het op- en afrittencomplex Torhout werd de corridor verruimd, zodat er maximaal naar een tracé kan gezocht worden die het overspannen van woningen zo veel mogelijk vermijdt. De corridor omvat zowel de zone ten oosten als ten westen van de E403. De mogelijke impact ter hoogte van woningen en op het Fluxysstation zal onderzocht worden in het verdere onderzoek en er zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van woningen nabij de nieuwe hoogspanningsverbinding kan er één van zijn.

Vraag tot een tracé via het knooppunt E40/E403 (al dan niet bundeling met de windmolens die voorzien zijn t.h.v. de verkeerswisselaar). Vraag tot het (maximaal) bundelen van het tracé met de E40 en de E403.

Ten opzichte van de startnota werd een nieuwe corridor toegevoegd waarbinnen een alternatief via de E40/E403 (variant via Oostkamp) verder zal onderzocht worden, zie §6.5.2.2 van de scopingnota.

Verbinding Torhout en Ardooie

Vraag tot een tracé in/via middenberm van de E403 (al dan niet gekoppeld aan de aanleg van een derde rijvak E403 tussen Brugge en Izegem, al dan niet gekoppeld aan gebruik van afgeslankte pylonen zoals in Nederland).

In het verdere onderzoek wordt rekening gehouden met de compacte vakwerkmasten en Wintrack-masten (cfr. Nederland), zie § 4.1.3 van de scopingnota. De compacte vakwerkmasten hebben een minimale footprint van ca. 15mx15m en de Wintrack-masten hebben een minimale footprint van ca. 24mx10m. De middenberm van de E403 heeft een gemiddelde breedte van ca. 5m, waardoor het realiseren van een mast in de middenberm technisch niet haalbaar is en dus geen redelijk alternatief is. Een bovengrondse lijn is niet mogelijk boven de rijweg. De autosnelweg zou bij elk onderhoud van

de hoogspanningslijn afgesloten dienen te worden wat niet aanvaardbaar is. Dit is derhalve geen redelijk alternatief en zal bijgevolg niet verder onderzocht worden.

De aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding in een (eventuele derde) rijstrook zou zowel bij de aanleg als bij onderhoud leiden tot het tijdelijk afsluiten van een aantal rijstroken, hetgeen op een autosnelweg niet aanvaardbaar is.

De aanleg van een tracé op het autosnelwegdomein (en dus ook op de middenberm en in de eerste meters naast de bestaande rijstroken) is wettelijk verboden.

Vraag om het tracé zo dicht mogelijk langs de E403 (om zo weinig mogelijk gezinnen te raken) te voorzien.

Daar waar een bundeling met een autosnelweg wordt onderzocht, wordt in een eerste fase een vrij brede corridor (zowel oost als west of noord en zuid) afgebakend waarbinnen de gekende kwetsbaarheden zullen worden beschreven. In een volgende fase zullen meerdere lijntracés worden uitgewerkt (zie §9.3.3 van de scopingnota). Bij het uitwerken van mogelijke lijntracés is het de bedoeling zo strak mogelijk te bundelen met de autosnelweg, wat betekent dat gezocht wordt naar een tracé dat zo dicht mogelijk aansluit met de autosnelweg EN rekening houdend met de voorkomende kwetsbaarheden langs de autosnelweg. Eén van de kwetsbaarheden waar zeker rekening mee zal worden gehouden, is het aantal en de ligging van voorkomende woningen. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van woningen nabij de nieuwe hoogspanningsverbinding kan er één van zijn.

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.1.

Vraag om een tracé te voorzien dat via Zedelgem rechtstreeks naar Z1 loopt via Koolskamp.

Deze inspraakreactie kan geïnterpreteerd worden als een vraag om een tracé te onderzoeken dat in een rechte lijn een verbinding maakt tussen de bestaande lijn in Zedelgem naar het hoogspanningsstation Muizelaar te Pittem. In toepassing van de ruimtelijke principes van het RSV wordt nagegaan of er gebruik kan gemaakt worden van bestaande masten en of er bestaande tracés kunnen herbenut worden, daarnaast wordt ook gezocht naar een bundeling met bestaande (hoofd)structuren en moet het overspannen van een grote concentratie woningen maximaal vermeden worden. Tussen Zedelgem en Z1 kan over een zeer grote afstand gebundeld worden met de E403, waardoor het voorgestelde tracé (dat niet bundelt met een lijninfrastructuur van Vlaams niveau) niet als een zinvol tracé bevonden wordt. Het voorgestelde alternatief voldoet immers over een zeer grote afstand niet aan het ruimtelijke beleid en zal dan ook niet verder onderzocht worden.

Een andere interpretatie is dat vanaf de kruising tussen de E403 en N35 een bundeling met de N35 oostwaarts naar Pittem voorgesteld wordt om daar het tracé van de bestaande 150kV-lijn richting Izegem te hergebruiken. De N35 is in deze zone in het RSV niet opgenomen als een primaire weg. Vanuit de ruimtelijke principes is de N35 hier dus geen weg waarmee een bundeling gezocht kan worden. De bebouwing ter plaatse is bovendien van dien aard dat er geen zinvolle bundeling mogelijk zou zijn. Over de afstand van zo'n 7km worden twee dorpskernen gekruist, waarbij over een afstand van meer dan 4,5 km zich een lintbebouwing of dichte bebouwing langsheen de weg bevindt. In de 2

resterende km tussen de twee dorpen is bijkomend vrij veel bebouwing langsheen de weg gelegen. Een “bundeling” met de weg zou dus hetzij tot erg veel nieuwe overspanningen leiden, hetzij over nagenoeg de gehele afstand niet gebundeld zijn met de weg. Beide situaties zijn in strijd met de beleidsprincipes. Dit zal dan ook, in het licht van de aangehaalde criteria waaraan een redelijkerwijs te onderzoeken alternatief moet voldoen, niet verder onderzocht worden.

Verbinding Roeselare en Izegem

Vraag om een tracé te voorzien aan de oostzijde van de E403 (groter aandeel van industrieel gebied), in plaats van boven/door woonwijk (Oudstrijderslaan, Roeselare).

De corridor langs de E403 omvat zowel de zone ten oosten als ten westen van de E403. Binnen deze corridor zullen in een eerste analyse de gekende kwetsbaarheden beschreven worden. In een volgende fase zullen meerdere lijntracés worden uitgewerkt (zie §9.3.3 van de scopingnota). Eén van de kwetsbaarheden waar zeker rekening mee zal worden gehouden, is het aantal en de ligging van voorkomende woningen. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van woningen nabij de nieuwe hoogspanningsverbinding kan er één van zijn.

Vraag tot een tracé dat meer zuidelijker loopt dan de voorgestelde variant Z4. Vraag tot het verder doortrekken van een tracé richting Moorsele (omgeving Essostation langs E403).

Ten opzichte van de startnota wordt de corridor ter hoogte van de zuidelijke variant Z4 uitgebreid richting het zuiden, waardoor het gevraagde alternatief deel uitmaakt van het verdere onderzoek, zie §6.5.2.4 van de scopingnota.

3.3 Microniveau

Oostende

Vraag tot het leggen van het tracé bij voorkeur onder de Dokter Eduard Moreauxlaan, niet onder de nieuwe wegenis van Oosteroever en in de haven onder de Victorialaan.

De opgesomde wegen liggen allen binnen het onderzoeksgebied. Binnen dit onderzoeksgebied zullen een aantal ondergrondse lijntracés uitgewerkt worden, waarbij onder andere rekening wordt gehouden met de gekende kwetsbaarheden binnen het studiegebied. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Zedelgem

Vraag om het voorgestelde tracé ruimer te bekijken. Het voorgestelde tracé wijkt ter hoogte van de Torhoutsesteenweg af van de gasleiding, waarschijnlijk wegens gebrek aan ruimte, achter de huizen is er nog open ruimte waar een alternatief kan gezocht worden.

Ten opzichte van de startnota wordt de corridor ter hoogte van Zedelgem verruimd, waardoor de vraag naar een tracé dat (meer) bundelt met de aanwezige Fluxysleiding theoretisch kan ingevuld worden (zie §6.5van de scopingnota). In het verder planproces zullen, o.b.v. de gekende kwetsbaarheden in deze corridor, meerdere lijntracés worden uitgewerkt en verder onderzocht op hun mogelijke voor-

en nadelen (zie §9.3.2 van de scopingnota). Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag om het tracé op te schuiven zodat deze niet net naast ons huis en schuur (Klythoek, Zedelgem) zou lopen, meer richting de open velden gaan.

Ten opzichte van de startnota werd de corridor ter hoogte van Zedelgem verruimd. In het verder planproces zullen, o.b.v. de gekende kwetsbaarheden in deze corridor, meerdere lijntracés worden uitgewerkt en verder onderzocht op hun mogelijke voor- en nadelen (zie §9.3.2 van de scopingnota). Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van woningen nabij de nieuwe hoogspanningsverbinding kan er één van zijn.

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.1.

Izegem

Vraag om het tracé op te schuiven naar het oosten, vermijden van overspannen van het Vrij Technisch Instituut (VTI). Vraag om tracé Z1 aan te passen tussen Ghistelstraat en Izegemstraat om de wijken aan Vinkenlaan en het VTI te vermijden van overspanning. Vraag om de bestaande lijn op te schuiven naar het oosten, naar de landbouwstrook tussen de Ghistelstraat en de Elf Juli Singel in Izegem.

Het gevraagde alternatief deel maakt deel uit van het onderzoek, zie §6.5.2.4 van de scopingnota.

Lokaal aanpassen tracé bestaande 150 kV lijnen (Koksijde-Izegem, Izegem-Ardooie-Pittem)

Vraag om het tracé van de bestaande 150 kV lijn beperkt aan te passen waar nodig (gezien masten moeten vervangen worden).

Daar waar bestaande tracés herbenut worden, zal worden nagegaan of een optimalisatie van het tracé mogelijk is, waardoor het gevraagde alternatief deel uitmaakt van het verdere onderzoek, zie § 5.2 van de scopingnota.

4. Uitvoering

Vraag tot een ondergrondse lijn op een diepte groter dan 3m.

De diepte waarop de kabels van een ondergrondse kabelverbinding liggen, is geen onderdeel van het plan an sich.

Gezien de diepte waarop de kabels aangelegd worden (alsook hun aantal en capaciteit) wel mogelijk kan leiden tot een verschil in de mogelijke permanente significante effecten, is de diepteligging wel relevant voor het milieueffectenonderzoek. In de plan-MER wordt dan ook uitgegaan van een realistische (gangbare) diepte.

De diepte waarop de kabels van de ondergrondse kabelverbinding liggen, heeft een invloed op de koeling van de kabels. Een diepere ligging veroorzaakt een minder goede koeling. Bij een minder goede

koeling door een diepere ligging dienen de kabels verder uit elkaar gelegd te worden. Hierdoor kan de benodigde koeling alsnog behouden worden die nodig is om de noodzakelijke transportcapaciteit te kunnen leveren. Door een grotere tussenafstand tussen de kabels verbreedt uiteraard de sleufbreedte. De onderzijde van de sleuf verbreedt tot een breedte van 23m in het geval van een verbinding met 6 circuits en een sleufbreedte van 78m in het geval van een verbinding met 4 circuits (waarbij voor dit tweede geval een werkstrook tussen de middelste circuits nodig is). Dit is respectievelijk 5m en 50m meer dan bij een aanleg op normale diepte. Vooral in de situatie met 4 circuits is er dus een aanzienlijke toename (ongeveer een verdrievoudiging) van de zone waarin kabels gelegd worden.

De vraag werd wellicht gesteld in de verwachting dat de magnetische velden kleiner zouden zijn door een diepere ligging. Dit is echter niet eenduidig het geval. Door de grotere tussenafstand van de kabels zullen de magnetische velden toenemen in de breedte. De berekende piekwaarden (maaiveld boven de kabel) dalen van 15,2µT naar 6,1µT voor 6 circuits en van 45,2µT naar 31,5µT voor 4 circuits. Door de grotere diepte nemen de piekwaarden boven de kabels dus licht af. Al deze waarden liggen echter ruimschoots onder de aanbeveling van 100µT. De relevante waarde in functie van potentiële gezondheidseffecten is de afstand waarop de 0,4µT-contour ligt bij een jaargemiddelde belasting. De breedte van de 0,4µT-contour stijgt van 40m naar 45m breedte voor 6 circuits en van 66m naar 140m voor 4 circuits. De vergroting van de tussenafstanden tussen de kabels leidt tot een grotere toename dan dat de diepere ligging van de kabels tot een afname van de 0,4µT-contour leidt.

Een bredere tussenafstand en diepere ligging heeft ook een grote invloed op de werfgerelateerde aspecten ten gevolge van de ruimte-inname. Niet alleen is de onderzijde van de sleuf breder, ook de hellingen van de sleuf en vooral de te stockeren grondvolumes in de werfzone nemen hierdoor sterk toe. De totale werfbreedte zal hierdoor toenemen tot een breedte van 77m in het geval van een verbinding met 6 circuits en een werfbreedte van 141m in het geval van een verbinding met 4 circuits. Dit is respectievelijk 17m en 70m meer dan bij een aanleg op normale diepte. Vooral in de situatie met 4 circuits is er dus een aanzienlijke toename (ruim een verdubbeling) van de zone die tijdens de werffase ingenomen zal worden. In welke mate dit zal leiden tot aanzienlijk negatieve effecten is afhankelijk van de lokale omgevingsomstandigheden. Een ruimtebeslag dat tot ruimschoots het dubbele gaat van bij een normale diepte zal echter nooit minder effecten kunnen hebben.

Naast de directe ruimte-inname kunnen ook indirecte effecten op het watersysteem groter zijn bij een diepere en bredere sleuf. Dit zal immers leiden tot een bijkomende nood aan bemaling tijdens de aanlegfase. In welke mate dit zal leiden tot aanzienlijk negatieve effecten is afhankelijk van de lokale omgevingsomstandigheden maar dit zal nooit tot minder effecten kunnen leiden dan bij een normale diepte.

Bij eventuele herstellingswerken zijn dezelfde nadelen van toepassing als de hogervermelde nadelen tijdens de aanlegfase. Daarnaast bemoeilijkt een diepere ligging een snelle herstelling omdat een veel groter volume grond uitgegraven dient te worden, wat een nadelige invloed heeft op de beschikbaarheid van het hoogspanningsnet in België.

Bovenstaande argumenten in acht genomen kan worden besloten dat een grotere diepte een bredere 0,4 µT contour inhoudt. Dit gaat in tegen het voorzorgsprincipe, zoals omschreven in de scopingnota, waar het streven is om deze contour juist zo smal mogelijk te houden.

Vraag om een ondergrondse lijn, gekoeld door middel van water en waarvan de restwarmte wordt gebruikt.

In de technologie-nota die reeds bij de startnota was gevoegd (zie ook bijlage 4.4 van de scopingnota), worden alle beschikbare technologieën voor het ondergronds brengen van hoogspanningslijnen en hun maturiteit beschreven. Er bestaat tot op heden geen ondergrondse technologie die gebruikt maakt van waterkoeling en recuperatie van restwarmte. Gezien de veiligheidsrisico's die bij incidenten kunnen optreden wordt ook niet verwacht dat dit op korte termijn ontwikkeld zal worden.

Vragen om een ondergrondse lijn gaande van volledig van Zeebrugge tot Avelgem tot minstens gedeeltelijk in een bepaalde zone (o.a. t.h.v. Stalhille, t.h.v. Zedelgem, parallel met de E40 en E403, t.h.v. Veldegem, langs E403 van Torhout tot Ardooie-Izegem, van Pittem tot Izegem, Z1, Z2, Z3, Z4, …).

Een luchtlijn met wisselstroom wordt nog steeds beschouwd als de referentietechnologie voor de nieuwe 380 kV-verbinding. Uit de dubbelcheck technologie (zie §2.4.1 van de scopingnota en bijlage 4.8) blijkt dat Ventilus ondergronds uitvoeren in gelijkstroom geen redelijk alternatief is. Het gebruik van HVDC (gelijkstroom) in vermaasde netelementen staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Bij een realisatie in wisselstroom wordt er voor een ondergrondse aanleg, vanuit risico-oogpunt geconcludeerd dat een lengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit (wat in totaal 18 ondergrondse kabels betekent). Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per circuit gewerkt worden (wat in totaal 12 ondergrondse kabels betekent), dit met een lengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg (zie §4.1.4 van de scopingnota). Waar eventueel een deel van de hoogspanningslijn ondergronds in wisselstroom kan gerealiseerd worden, ligt nog niet vast. Het bundelingsprincipe zal overal maximaal worden toegepast (zie §5 van de scopingnota). De dubbelcheck heeft geleid tot een bijstelling van het maximaal aantal km dat ondergronds in wisselstroom kan worden aangelegd (uitbreiding tot maximaal 12 km indien de ondergrond dit toelaat). Een gedeeltelijke ondergrondse aanleg (met wisselstroom) wordt onderzocht in alle corridors waar nieuwe masten moeten gebouwd worden of bestaande masten moeten vervangen worden.

Ten opzichte van de startnota worden de onderzoekscorridors ter hoogte van een aantal zones verruimd (zie §6.5.1, 6.5.2 en 6.6 van de scopingnota). In het verder planproces zullen, o.b.v. de gekende kwetsbaarheden in deze corridors, meerdere lijntracés worden uitgewerkt en verder onderzocht op hun mogelijke voor- en nadelen (zie §9.3.3 van de scopingnota).

Bundeling met bestaande hogedrukgasleiding

Binnen de te onderzoeken corridors en onderzoeksgebieden zal een bundeling van de nieuwe hoogspanningsverbindingen met bestaande gasleidingen onderzocht worden (zowel bovengrondse als ondergrondse verbindingen kunnen in principe bundelen met ondergrondse buisleidingen).

Vraag om een ondergrondse lijn voor de laatste 1-5 km van hoogspanningslijn uit Izegem-Avelgem.

Voor het uitwerken van het planvoornemen dient rekening gehouden te worden met de principes van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen. Bij toepassing van de ruimtelijke principes van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen geldt het onderstaande:

- Eerst wordt onderzocht of een bestaande lijn kan worden versterkt.
- Indien dit niet het geval is, wordt het herbenutten van bestaande tracés onderzocht.

- In derde orde wordt gezocht naar mogelijkheden om te bundelen met bestaande lijnvormige structuren.

Bij het uitwerken van een nieuwe hoogspanningsverbinding over lange afstand is het onderzoeken van een ondergronds tracé ter hoogte van een lijn die kan versterkt worden bijgevolg in strijd met het Ruimtelijk Structuurplan. In de scopingnota is dan ook bepaald dat er in de gevallen waar de bestaande mastenrij behouden blijft, geen ondergronds alternatief zal onderzocht worden. Dit is onder andere het geval voor de verbinding tussen Izegem en Avelgem. De afbraak van een bestaande hoogspanningslijn waar enkel geleiders vervangen dienen te worden is geen realistisch alternatief.

Vraag om een ondergrondse lijn van Koksijde naar Avelgem, met lus in zee, inclusief aansluiting van de windmolenparken.

Een luchtlijn met wisselstroom wordt beschouwd als de referentietechnologie voor de nieuwe 380 kV-verbinding. Uit de dubbelcheck technologie (zie §2.4.1 van de scopingnota en bijlage 4.8) blijkt dat Ventilus ondergronds uitvoeren in gelijkstroom geen redelijk alternatief is. Het gebruik van HVDC (gelijkstroom) in vermaasde netelementen staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Bij een realisatie in wisselstroom wordt er voor een ondergrondse aanleg vanuit risico-oogpunt geconcludeerd dat een lengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit (wat in totaal 18 ondergrondse kabels betekent). Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per circuit gewerkt worden (wat in totaal 12 ondergrondse kabels betekent), dit met een lengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg (zie §4.1.4 van de scopingnota). Waar eventueel een deel van de hoogspanningslijn ondergronds in wisselstroom kan gerealiseerd worden, ligt nog niet vast. Het bundelingsprincipe zal overal maximaal worden toegepast (zie §5 van de scopingnota). De dubbelcheck heeft geleid tot een bijstelling van het maximaal aantal km dat ondergronds in wisselstroom kan worden aangelegd (uitbreiding tot maximaal 12 km indien de ondergrond dit toelaat). Een gedeeltelijke ondergrondse aanleg wordt onderzocht in alle corridors waar nieuwe masten moeten gebouwd worden of bestaande masten moeten vervangen worden. In het verder planproces zullen, o.b.v. de gekende kwetsbaarheden in de corridors en onderzoeksgebieden, meerdere lijntracés worden uitgewerkt en verder onderzocht op hun mogelijke voor- en nadelen (zie §9.3.3 van de scopingnota)..

Er is een behoefte aan een verbinding van 6 GW. Omwille van de ligging van de postlocatie van het Stevin-hoogspanningsstation nabij de kust zou men er ook voor kunnen opteren om de 6GW verbinding met een kabelverbinding via de Noordzee te laten lopen tot in Oostende of Koksijde.

Een verbinding langsheen de Noordzee is niet weerhouden. Zoals uit de studies naar de beschikbare technologieën gebleken is, is deze afstand niet overbrugbaar met een 380kV-kabelverbinding. 220kV-kabelverbindingen komen voor een 6GW verbinding niet in aanmerking, zoals ook de experten in de dubbelcheck technologie bevestigden. Een 6GW verbinding zou 17 driefasige 220 kV-verbindingen vereisen die samen een kabelcorridor van 2,5 km breedte nodig hebben. Op de aanlandingsplaatsen aan het strand zou de benodigde breedte 800 m zijn. Bovendien moet daarbij nog een strook van 250m voorzien worden voor de aanlanding van de kabels die van de productieparken zullen komen. Vanaf het land tot aan de mogelijke postlocatie dienen de zeekabels éénfasig te worden aangelegd wat overeenkomt met 51 parallelle kabels. Dit is geen realistische oplossing. In de hoogspanningsstations zouden een tiental transformatoren en een twintigtal shunt reactoren vereist zijn waardoor de oppervlaktes van de stations verdriedubbelen en de geluidsniveaus sterk toenemen.

De veilige exploitatie van een dergelijke verbinding wordt ook belemmerd omwille van de kruising van alle kabels (energie, telecom, …) en pijpleidingen die via de zee aan land komen alsook van de vaarroutes. Deze piste wordt zowel vanuit offshore als onshore perspectief als niet-beschikbaar en niet redelijk beschouwd (zie §2.4.1 van de scopingnota, bijlage 4 (bijlage 4.4 Elia Technologiestudie 2018) en de procesnota voor aanpak dubbelcheck technologie).

Vraag om een ondergrondse lijn van 220 kV tot in Izegem/Avelgem en daar omzetten naar een 380 kV lijn. Vervolgens een lus maken op zee van het bestaande windmolenpark naar het toekomstige windmolenpark, en van die laatste een 220kV lijn naar Koksijde.

Dit voorstel wordt begrepen als een rechtstreekse aansluiting van de windparken tot in Izegem met 220kV-kabelverbindingen. Met dit voorstel wordt geen antwoord gegeven op de behoefte aan een robuuste verbinding van 6 GW.

Bovendien is de verbinding via de zee voor de wederzijdse redundantie tussen Ventilus en Stevin niet mogelijk voor de nodige vermogens. Zie het antwoord hierboven.

De rechtstreekse aansluiting van de windparken in Izegem met 220kV-kabels voldoet niet aan de plandoelstellingen. Een inlussing via de zee is geen realistische mogelijkheid. Dit voorstel is dus geen relevant alternatief om verder mee te nemen.

Vraag om de ondergrondse 150 kV in bestaande wegenis aan te leggen (om bijkomende impact op landbouw te vermijden).

De aanleg van een 150kV-verbinding vergt een sleuf en werfzone van een veel beperktere schaal dan bij de 220kV en de eventuele 380kV-bundels van het Ventilus-project.
150kV-verbindingen worden daardoor bijna altijd aangelegd in openbare wegenis en deze bundeling kan zowel in lokale als bovenlokale wegen.
Wanneer een ligging in de wegenis niet mogelijk is, worden de bundelingsprincipes toegepast met lijninfrastructuren op Vlaams niveau, zoals bij luchtlijnen, maar ook voor lijninfrastructuren van lokaal niveau zoals gemeentelijke wegen en waterlopen. Er wordt steeds gezocht naar een ruimtelijk logische bundeling.

Vraag om een kabel te ontwikkelen waarvan de magnetische velden (volledig) ingekapseld worden, waardoor een betere isolatie wordt voorzien die de straling tegenhoudt als een elektromagnetisch schild.

Ondergrondse kabels op hoge spanningsniveaus waarbij het magnetisch veld volledig wordt tegengehouden bestaan tot op heden niet. Om de magnetische velden maximaal te beperken worden reeds enkele andere maatregelen genomen. Zo worden de kabels onderling zo geschikt dat ze elkaars magnetische velden zoveel als mogelijk opheffen waardoor het resulterende magnetische veld kleiner is. Deze techniek wordt zowel voor ondergrondse kabels als bovengrondse lijnen toegepast.

Daarnaast wordt, net als bij bovengrondse lijnen, ook voor ondergrondse kabels het principe toegepast om waar mogelijk afstand te houden van woningen en (onbebouwde) bebouwbare percelen.

Wat is de mogelijkheid van transport via bestaande waterkanalen?

Een ligging in waterwegen wordt omwille van veiligheid, onderhoud en plaatsgebrek niet beschouwd als redelijk. Kabels in een bevaren rivier zijn kwetsbaar. Of het stroom-of internetkabels zijn, een beschadiging van de kabels is voor heel veel mensen en bedrijven problematisch. Om beschadiging te voorkomen wordt ervoor gezorgd dat elke kabel minimaal een dekking (sedimentlaag) van twee meter heeft. Rondom de kabels kan niet worden gebaggerd om gevaarlijke situaties te vermijden. Zo blijft het risico op beschadiging minimaal en ligt de kabel stabiel. Door continue sedimentatie van waterwegen is regelmatige baggering/ruiming noodzakelijk. Daarom worden kabels uiterst zelden in waterwegen aangelegd. De risico's die dit voor de bevoorradingszekerheid van België met zich meebrengt zijn, voor een transmissieverbinding als Ventilus niet aanvaardbaar. Ten slotte is de beschikbare ruimte in waterwegen te beperkt voor de noodzakelijke breedte die vereist is voor de capaciteit van 6 GW**.**

Vraag om gebruik van supergeleiders.

In de technologie-nota die reeds bij de startnota was gevoegd (zie ook bijlage 4.4 van de scopingnota), worden alle beschikbare technologieën voor het ondergronds brengen van hoogspanningslijnen en hun maturiteit beschreven. Supergeleiding werd voor de volledigheid in deze oefening meegenomen maar zit nog in een onderzoeks- en ontwikkelingsfase in laboschaal en dat bovendien voor wat betreft kleine vermogens. Het is niet verantwoord om voor een van de belangrijkste verbindingen van het land een niet-mature technologie toe te passen waarover vandaag nog een zeer beperkte kennis is.

5. Bezwaren en standpunten

Er wordt vastgesteld dat een groot aantal inspraakreacties algemene standpunten over en tegen (verschillende onderdelen) het voorliggend plan betreffen. Deze inspraakreacties houden geen inhoudelijke elementen in die een aanpassing vergen van het voorgenomen geïntegreerd onderzoek. Hoewel deze inspraakreacties een duidelijk signaal zijn, kan er in deze fase enkel akte van worden genomen. Ze geven wel inzicht over welke elementen er nog veel discussie, onbegrip, onzekerheid en vragen bestaan. Hiermee zal, in de mate van het mogelijke, rekening worden gehouden tijdens de verdere procedure. Onder meer op basis van de inspraakreacties besliste het planteam om in deze fase het alternatievenonderzoek te verruimen, een dubbelcheck technologie uit te voeren, een landbouwimpactstudie uit te voeren en een klankbordgroep gezondheid te organiseren. Waar mogelijk zijn de resultaten hiervan reeds opgenomen en verwerkt in deze bijlage en de scopingnota. De methoden die hierbij gehanteerd werden, zijn opgenomen in de procesnota.

Een aantal vragen en stellingen die een specifiek antwoord vereisen (die nog niet volledig of elders in deze bijlage is opgenomen), worden hieronder besproken.

Stelling dat Vlaanderen dicht bevolkt en verspreid bebouwd is, waardoor je bijna geen andere keuze hebt dan ondergronds te werken.

Vlaanderen is gemiddeld gezien dicht bevolkt en heeft een verspreide bebouwing.

Een volledige ondergrondse aanleg in wisselstroom is technisch niet mogelijk.

Elia heeft in studies de mogelijkheden onderzocht van een ondergrondse aanleg van Ventilus zonder de leveringszekerheid in gedrang te brengen (zie ook dubbelcheck technologie). Daarbij is een methode van de TU Delft en TenneT gebruikt en volgende analyses omvat:

- Analyse van het **effect** van een ondergrondse kabel in normale condities ('steady state analyse');
- Analyse om het **risico** op ongewenste netfenomenen zoals resonanties te bepalen ('harmonische analyse');
- Analyse van **gedrag** elektriciteitsnet bij specifieke gebeurtenissen ('dynamisch en transiënt gedrag').

De afstand die in wisselstroom ondergronds kan worden gebracht, wordt niet bepaald door één specifieke parameter. Deze afweging is onderhevig aan een complex samenspel tussen technische aspecten, zoals spanningslimieten, compensaties, beveiligingen en resonanties.

Vanuit risico-oogpunt kan geconcludeerd worden dat een kabellengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds kan gebracht worden met 3 kabels per circuit. Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat, kan met 2 kabels per verbinding gewerkt worden, dit met een kabellengte van maximaal 12 kilometer tot gevolg. Elke extra kilometer ondergrondse kabel verhoogt de risico's aanzienlijk op het optreden van resonanties, spanningssprongen en uitbatingsrisico's waardoor de betrouwbaarheid niet meer gegarandeerd kan worden. Dit laatste zou onverantwoord zijn gelet op de significante gevolgen, niet alleen in België maar ook daarbuiten.

De verbinding realiseren op een lager spanningsniveau (bv. 220 kV) zal hieraan niet wijzigen, maar zou door toevoeging van het totale aantal componenten de betrouwbaarheid verminderen.

Een luchtlijn met wisselstroom wordt beschouwd als de referentietechnologie voor de nieuwe 380 kV-verbinding. Een gedeeltelijke ondergrondse aanleg wordt onderzocht in alle zones waar nieuwe masten moeten gebouwd worden of bestaande masten moeten vervangen worden met een maximale totale lengte van 8 tot 12 km.

Er wordt in het planproces rekening gehouden met de bestaande ruimtelijke structuur en concrete situatie. Dit zal ook worden doorvertaald bij het uittekenen van het concrete planvoornemen.

Voor het realiseren van nieuwe hoogspanningsverbindingen worden volgende ruimtelijke principes uit het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen toegepast, onder meer om de ruimtelijke impact zoveel mogelijk te beperken:

- Versterken van bestaande lijnen;
- Herbenutten van bestaande lijnen;
- Bundelen met bestaande lijnvormige structuren (bestaande hoogspanningslijnen, hoofdwegen, primaire wegen, hoofdwaterwegen, hoofdspoorwegen …);
- De totale lengte van het bovengrondse net niet uitbreiden;
- Bundeling van functies.

De ruimtelijke principes worden uitgebreid toegelicht in hoofdstuk 5 'Ruimtelijke principes' van de scopingnota.

Vraag om andere trajecten uit te stippelen en te onderzoeken waarbij mens en omgeving centraal staan. Er moet worden gekozen voor een ander traject of technologie die gezondheid en leefbaarheid op de eerste plaats zet, waarbij veel minder jonge gezinnen getroffen worden en de burgers (beter) beschermd worden.

Elk alternatief dat voldoet aan de plandoelstellingen en de toepassing van de ruimtelijke principes uit het RSV, zal worden onderworpen aan een aantal onderzoeken die de impact op mens en milieu in kaart zullen brengen. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het

milieueffectenonderzoek (plan-MER) zal, naast een aantal andere onderzoeken (o.a. MKBA), mee input geven om 1 finaal tracé ruimtelijk te vertalen in een grafisch plan met begeleidende stedenbouwkundige voorschriften.

In een aantal bezwaren, opmerkingen en adviezen wordt aangegeven dat er wordt verwacht/gehoopt dat de regering/ Vlaamse Overheid dit heel grondig onderzoekt en alle mogelijke alternatieven bekijkt.

Onder meer op basis van de inspraakreacties en adviezen besliste het planteam om het alternatievenonderzoek te verruimen (zie §5 en §6 van de scopingnota), bijkomend onderzoek op te (laten) starten (dubbelcheck technologie, literatuurstudie i.k.v. impact hoogspanning op landbouw, klankbordgroep gezondheid, analyse risicogebieden draadslachtoffers) (zie §2.4 van de scopingnota). Daarnaast zullen in het verder planproces ook de volgende reeds geplande onderzoeken uitgevoerd worden, zoals een milieueffectenonderzoek (plan-MER inclusief passende beoordeling, zie §9 van de scopingnota), een maatschappelijke kostenbaten analyse (MKBA, zie §10.3 van de scopingnota) en een ruimtelijk veiligheidsrapport (RVR, zie §10.4 van de scopingnota).

In de procesnota wordt aangegeven op welke manier de verschillende onderzoeken zullen worden uitgevoerd. Het resultaat van al deze onderzoeken zal toelaten om met voldoende brede kennis van zaken een goed gemotiveerde beslissing te nemen.

Er wordt gesteld dat het basisalternatief de enige of beste optie zou zijn.

In de startnota was een 'basisalternatief' vooropgesteld als meest plausibel alternatief. De keuze om dit zo voor te stellen werd gemaakt door het planbegeleidingsteam en het overleg met de betrokken burgemeesters, voorafgaand aan de startnota. Of dat basisalternatief uiteindelijk het voorkeurstracé zou worden, is nergens gezegd. Integendeel, het werd altijd voorgesteld als een mogelijk alternatief naast de andere gelijkwaardige alternatieven en dat er op basis van het, nog uit te voeren, onderzoek een keuze zou gemaakt worden. Er werd geoordeeld dat een basisalternatief een nog meer gerichte inspraak mogelijk zou maken.

Gelet op het aantal bijkomende alternatieven die toegevoegd worden op basis van de toepassing van de ruimtelijke principes zoals besproken in hoofdstuk 5 van de scopingnota, de grote vraag vanuit de inspraak en het gegeven dat alle alternatieven daadwerkelijk gelijkwaardig zullen worden onderzocht, wordt in de scopingnota niet langer gesproken over een basisalternatief. De alternatieven en de varianten hierop worden in de scopingnota gebundeld tot 5 hoofdalternatieven. Het basisalternatief zoals opgenomen in de startnota is in de scopingnota nu opgenomen onder het hoofdalternatief via de E403, zie §6.5.1 en §6.5.2 van de scopingnota.

Alle, op dit moment nog als redelijk beschouwde, alternatieven zullen onderzocht worden. Dit onderzoek zal gefaseerd gebeuren zodat alternatieven die na een eerste stap (kwetsbaarheidsanalyse) duidelijk onredelijk blijken te zijn, niet onnodig in detail onderzocht moeten worden.

Vervolgens zal, in het licht van de verschillende effectbeoordelingen, een gemotiveerde keuze worden gemaakt voor een tracé, dat zal worden verankerd in het voorontwerp van RUP. Hierbij zal de plannende overheid in het RUP moeten aangeven welke de conclusies zijn van de verschillende effectbeoordeling en hoe deze zijn geïntegreerd in het plan (cf. art. 2.2.5, § 1, 8° VCRO).

Vraag om in het verder verloop van het planproces het onderzoek te verbreden, betreffende het aantal weerhouden en onderzochte alternatieven. Hierbij wordt verwezen naar de verplichtingen die zijn opgenomen in de bijlage I van de SEA-richtlijn en de bepalingen in het DABM. Er wordt gesteld dat de startnota onterecht focust op een voorkeursalternatief (basisalternatief genoemd), waarbij deze benadering aanhouden haaks staat op de MER-wetgeving. De aangehaalde alternatieven in de inspraak zijn geenszins exhaustief. Het is duidelijk dat er veel meer onderzoek moet gebeuren naar mogelijke alternatieven en naar hun milieueffecten vooraleer kan beslist worden welke oplossing de voorkeur geniet. Het onderzoek moet dus uitgebreid worden (1) naar andere mogelijke locaties, (2) naar mogelijke uitvoeringsmodaliteiten en (3) de verschillende alternatieven moeten met elkaar worden vergeleken, waarbij minstens de mogelijke milieueffecten van de diverse alternatieven in rekening worden gebracht. Het op voorhand uitsluiten van alternatieven zonder daarbij de milieueffecten te betrekken, kan niet en maakt een volledige afweging onmogelijk. Het staat immers aan de opstellers van het plan om alle redelijke alternatieven te identificeren. Dit vergt een aanzienlijk en complex onderzoek. Dit is op vandaag niet gebeurd, althans niet wat de (mogelijks positieve) milieueffecten van andere oplossingen betreft. Het is de verantwoordelijkheid van de overheid om grondiger onderzoek te leveren en bepaalde alternatieven wel aan een milieueffectrapportage te onderwerpen. In het onderzoek moet rekening gehouden worden met het nulalternatief. Bijkomend wordt verwezen naar de vereisten ikv het Verdrag van Aarhus (art. 7) inzake de mogelijkheid tot inspraak en toegang tot informatie bij de voorbereiding van plannen en programma's.

In de startnota was een 'basisalternatief' vooropgesteld als meest plausibel alternatief. De keuze om dit zo voor te stellen werd gemaakt door het planbegeleidingsteam en het overleg met de betrokken burgemeesters, voorafgaand aan de startnota. Of dat basisalternatief uiteindelijk het voorkeurstracé zou worden, is nergens gezegd. Integendeel, het werd altijd voorgesteld als een mogelijk alternatief naast de andere gelijkwaardige alternatieven en dat er op basis van het, nog uit te voeren, onderzoek een keuze zou gemaakt worden. Er werd geoordeeld dat een basisalternatief een nog meer gerichte inspraak mogelijk zou maken. In de scopingnota werd de aanduiding van 'basisalternatief' verlaten gezien dit door sommigen blijkbaar toch als een "voorkeursalternatief" gepercipieerd werd.

Over deze startnota werd een participatieperiode georganiseerd. De manier waarop dit gebeurd is, is hoger in voorliggende nota terug te vinden en werd ook beschreven in de procesnota.

In het verder planproces zullen alle redelijke alternatieven onderzocht worden. In de startnota waren meerdere alternatieven of varianten opgenomen. Onder meer op basis van de inspraakreacties en adviezen, besliste het planteam om het alternatievenonderzoek te verruimen (zie hoofdstuk 5 en 6 van de scopingnota). In de startnota werden reeds een aantal alternatieven uitgesloten, en dit o.b.v. voorafgaand onderzoek. De regelgeving inzake plan-MER voorziet inderdaad dat redelijke alternatieven op een vergelijkbare wijze worden onderzocht. Alternatieven kunnen uitgesloten worden, als deze niet technisch en/of ruimtelijk uitvoerbaar zijn, of als ze niet kunnen voldoen aan de doelstellingen die vooropgesteld worden voor het planvoornemen. Alternatieven die op basis van duidelijke argumenten als niet realistisch kunnen beschouwd worden, bijv. niet realiseerbaar of uitvoerbaar, zijn bijgevolg niet redelijk, en moeten dus niet aan het milieueffectenonderzoek (plan-MER) onderworpen worden.

In hoofdstuk 5 en 6 van de scopingnota wordt beschreven hoe de redelijke alternatieven bepaald worden. Na deze toetsing zullen de milieueffecten van de redelijke alternatieven voldoende onderzocht worden in de plan-MER. In hoofdstuk 9 van de scopingnota en de bijlage 2 kan men reeds een aantal zaken over het plan-MER vernemen, waaronder de methodologie, studiegebied en de relevante effectgroepen.

Gezien de vele vragen omtrent uitvoeringsmodaliteiten (o.a. vragen naar ondergrondse aanleg, vragen naar toepassen van gelijkstroomtechnologie) besliste het planteam om een dubbelcheck inzake technologie uit te voeren (zie §2.4.1 van de scopingnota), hierin werd de bovengrondse uitvoering in wisselstroom, al dan niet via een gedeeltelijke ondergrondse aanleg, nogmaals bevestigd als enig technisch uitvoerbaar, realistisch en dus redelijk alternatief.

De economische kostprijs van een bepaalde technologie wordt niet gebruikt als criterium om een bepaald alternatief niet te onderzoeken. Het onderzoek in de plan-MER zal evenmin de economische kostprijs meenemen als beoordelingscriterium. Het element van de baten en de kosten zal vervat zitten in de MKBA.

De range aan mogelijke locatiealternatieven werd grondig uitgebreid (zie §6.3 van de scopingnota). De aanlanding in Koksijde werd terug opgenomen in het onderzoek, en het hergebruik van de bestaande hoogspanningstracés van hieruit zal ook onderzocht worden.

In artikel 4.2.8, §1, 5°, b) van het DABM wordt gesteld dat een plan-MER tenminste "*de relevante aspecten van de bestaande situatie van het milieu en de mogelijke ontwikkeling ervan als het plan of programma niet wordt uitgevoerd*" moet bevatten. Een beschrijving van de bestaande situatie, en de mogelijke ontwikkeling ervan, als het planvoornemen niet wordt uitgevoerd, zal opgenomen worden in de plan-MER. Deze beschrijving zal dienen als referentiesituatie voor de vergelijking met de redelijke alternatieven en de beoordeling van de mogelijk te verwachten milieueffecten. De referentiesituatie is het nulalternatief. Het is bijgevolg niet zinvol om het nulalternatief als een afzonderlijk alternatief te beoordelen omdat dit geen effecten heeft t.o.v. de referentiesituatie. Voor de mogelijkheid tot inspraak wordt verwezen naar de procesnota.

Wat ten slotte de verwijzing naar artikel 7 van het Verdrag van Aarhus betreft, kan er op worden gewezen dat deze bepaling als volgt luidt:

> "*Elke Partij treft passende praktische en/of andere voorzieningen voor inspraak voor het publiek gedurende de voorbereiding van plannen en programma's betrekking hebbende op het milieu, binnen een transparant en eerlijk kader, na het publiek de benodigde informatie te hebben verstrekt. In dit kader wordt artikel 6, derde, vierde en achtste lid toegepast. Het publiek dat kan inspreken wordt door de betreffende overheidsinstantie aangewezen met inachtneming van de doelstellingen van dit Verdrag. Voor zover passend spant elke Partij zich in om, bij de voorbereiding van beleid betrekking hebbende op het milieu mogelijkheden te scheppen voor inspraak***."**

Deze verplichting in de geïntegreerde planprocedure, zoals omschreven in de VCRO, waarbij er over de startnota een inspraakronde wordt georganiseerd en over het ontwerp van RUP een openbaar onderzoek.

Stelling dat uitvoeringsalternatieven niet worden weerhouden, noch op macro (andere routes) noch op microniveau (tracé t.h.v. inspreker). De uitvoeringsalternatieven worden aan de kant geschoven, o.b.v. een advies van Belgische academici die zich baseren op een eerdere kosten-batenanalyse. De evaluatie in deze eerdere kosten-baten analyse werd uitgevoerd op basis van volgende criteria: betrouwbaarheid & beschikbaarheid, impact op netuitbating, maturiteit en mogelijkheden tot aftakkingen. Verwijzing naar art. 4.2.8 §1bis 6° DABM (inhoudsvereisten van het MER).

In het verder planproces zullen de redelijke alternatieven onderzocht worden. In de startnota waren meerdere alternatieven of varianten opgenomen. Onder meer op basis van de inspraakreacties en

adviezen, besliste het planteam om het alternatievenonderzoek te verruimen (zie hoofdstuk 5 en hoofdstuk 6 van de scopingnota). In de startnota werden reeds een aantal alternatieven uitgesloten, en dit o.b.v. voorafgaand onderzoek. De regelgeving inzake plan-MER voorziet inderdaad dat redelijke alternatieven op een gelijkwaardige wijze worden onderzocht. Alternatieven kunnen uitgesloten worden, als deze niet technisch en/of ruimtelijk uitvoerbaar zijn, of als ze niet kunnen voldoen aan de doelstellingen die vooropgesteld worden voor het planvoornemen. Alternatieven die op basis van duidelijke argumenten als niet realistisch kunnen beschouwd worden, bijv. niet realiseerbaar of uitvoerbaar, zijn bijgevolg niet redelijk, en moeten dus niet aan het milieueffectenonderzoek (plan-MER) onderworpen worden.

Het advies van de Belgische academici dat bij de startnota was gevoegd, handelde over de technische haalbaarheid en niet over financiële haalbaarheid. Deze oefening werd tijdens de dubbelcheck hernomen (zie §2.4.1 van de scopingnota) en hierbij werd expliciet gemaakt dat de financiële aspecten niet worden meegenomen bij de afweging van de technologische mogelijkheden.

Alle mogelijk te onderzoeken alternatieven moeten objectief en evenredig afgewogen worden. De startnota legt nu veel nadruk op basisalternatief, waardoor vermoeden wordt gewekt dat dit het finale tracé zal worden.

In de startnota was inderdaad een 'basisalternatief' vooropgesteld als meest plausibel alternatief (zie hoger). Of dat basisalternatief uiteindelijk het voorkeurstracé zou worden, is nergens gezegd. Integendeel, het werd altijd voorgesteld als een mogelijk alternatief naast de andere gelijkwaardige alternatieven en dat er op basis van het onderzoek een keuze zou gemaakt worden. Er werd geoordeeld dat een basisalternatief een nog meer gerichte inspraak mogelijk zou maken. In de scopingnota is geen sprake meer van een basisalternatief gezien dit door sommigen blijkbaar als een "voorkeursalternatief" gepercipieerd werd.

Alle redelijke alternatieven zullen onderzocht worden. Er werden verschillende varianten evenwaardig voorgesteld in de startnota. Deze zullen aangevuld worden met alle redelijke suggesties die gedaan werden tijdens de publieke consultatie.

De variant die op p49 van de startnota wordt besproken (tracé voor ondergrondse aanleg langs kanaal Gent-Oostende tot aan de N31) wordt niet weergegeven op kaart. Als deze wordt meegenomen, moet deze ook volwaardig beschreven worden.

Zie hoofdstuk 6 in de scopingnota voor de beschrijving en (indicatieve) visuele weergave van dit tracé.

Wordt het eventuele ruimtebeslag van eventuele natuurcompensaties mee beschouwd in het onderzoek?

Indien uit het milieueffectenonderzoek blijkt dat natuurcompensaties noodzakelijk zijn, dan zal dit op een voldoende rechtszekere en zorgvuldige wijze worden vertaald in de stedenbouwkundige voorschriften en/of het grafisch plan van het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan.

Ook de effecten van deze natuurcompensaties zullen worden meegenomen in de milieueffectbeoordeling in het plan-MER.

Stelling dat het mobiliteitsgebruik een onderscheidend element is voor alternatieven met aanleg van ondergrondse kabels in openbaar domein. Alternatieven in wegenis in een eerder landelijke omgeving, dus buiten een stedelijke omgeving met hoge mobiliteitsgebruik, zijn in hoge mate te verkiezen boven alternatieven in een intensief (ondergronds en bovengronds) aangewende omgeving.

De aanleg van een 70 kV- of een 150 kV-kabel vergt een beperkte sleuf- en werfzone waardoor deze kabels bijna altijd aangelegd kunnen worden in openbare wegenis, zowel lokale als bovenlokale wegen. De aanleg van een tracé op het autosnelwegdomein is wettelijk verboden.

Wanneer de ligging in openbare wegenis niet mogelijk is (o.a. voor de 220 kV- en 380 kV-kabels waar de sleufbreedte de wegenis (ruim) overschrijdt, maar soms ook voor 70 kV- of 150 kV-kabels) worden de bundelingsprincipes van het RSV toegepast (zie §5 van de scopingnota). Hierbij wordt gezocht naar een bundeling met lijninfrastructuren op Vlaams niveau (220 kV- en 380 kV) of ook lijninfrastructuren van (boven)lokaal niveau zoals gemeentelijke wegen en waterlopen (70 kV- en 150 kV).

Vraag om resterende delen van herbenutte luchtlijnen ook ondergronds te brengen. Bijv. ingeval keuze voor Z1 luchtlijn E403-Pittem-Izegem, ook het gedeelte van de bestaande 150 kV ten westen van de E403 ondergronds brengen (al dan niet in combinatie met heraanleg van wegenis). Bijv. ingeval keuze voor Z2 ook het gedeelte van de luchtlijn Pittem-Ingelmunster (noordelijk deel van herbenutte lijn) ondergronds brengen.

Het bij voorkeur hergebruiken van tracés van bestaande luchtlijnen is een van de principes uit het RSV. Waar het tracé van een bestaande (vb 150kV) hoogspanningslijn (gedeeltelijk) hergebruikt wordt voor een 380kV-lijn zal de lijn afgebroken en vervangen moeten worden.

De afbraak van tracés van bestaande luchtlijnen die niet hergebruikt worden is geen ruimtelijk principe noch plandoelstelling. Dit is ook niet het geval wanneer een stuk van een tracé van een bestaande luchtlijn hergebruikt wordt.

De bijkomend afbraak van (delen van) luchtlijnen kan uiteraard mogelijk wel uit het milieueffectenonderzoek naar voor komen als milderende maatregel of aanbeveling.

Stelling dat het traject doorheen Zedelgem jaren geleden ook al eens is voorgesteld. Dit is toen niet weerhouden omwille van bepaalde redenen. Welke zijn de redenen, en hoe is de situatie veranderd om dit opnieuw in overweging te nemen?

In hoofdstuk 1 van de scopingnota wordt uitvoerig ingegaan op de aanleiding en noodzaak van dit plan en hieruit volgend project.

In een aantal opmerkingen, adviezen en bezwaren wordt gewezen op het ontbreken van een (voldoende gefundeerd) antwoord rond de kostprijs van mogelijke alternatieven. Ook moet rekening gehouden worden met alle mogelijke gevolgen, niet enkel de technische implementatie.

De economische kostprijs van een bepaalde technologie wordt niet gebruikt als criterium om een bepaald alternatief niet te onderzoeken. Het onderzoek van de plan-MER zal evenmin de economische kostprijs meenemen als beoordelingscriterium. Het element van de baten en de kosten zal vervat zitten in de MKBA (maatschappelijke kosten-baten analyse).

Bij de keuze van de technologie en het finale tracé zal met de resultaten van het geïntegreerd onderzoek en de verschillende criteria rekening gehouden worden. Uiteraard moet het project wel ten allen tijde voldoen aan de plandoelstellingen en de vereisten van het hoogspanningsnetwerk, zijnde een betrouwbaar en veilig transport verzekeren van elektriciteit.

Stelling dat het niet overwegen van alternatieven vanuit het perspectief dat bepaalde alternatieven nog in volle evolutie zijn, indruist tegen het Vlaams beleid om innovatie te promoten.

Voor verschillende aspecten rond technologie is geopteerd om een dubbelcheck uit te voeren (zie §2.4.1 van de scopingnota). De manier waarop en met wie deze dubbelcheck werd uitgevoerd, is opgenomen in de procesnota.

Binnen het tijdskader van het Ventilus project bieden nieuwe technologieën (bv de HDVC-technologie) alsook nog onbestaande technologieën geen gegarandeerde betrouwbare toepassing. Dit staat in schril contrast met de maturiteit en garanties die een uitvoering in bovengrondse wisselstroomverbinding kan bieden. Dit bevestigt dat wisselstroom op dit moment, maar ook de komende jaren nog, de enige aanvaardbare technologie is voor de uitbouw van het project.

Voor een kritische infrastructuur zoals een hoogspanningslijn is de betrouwbaarheid een essentieel element. Op andere schaal kan dat wel uitgetest worden en uit de studies blijkt ook dat die evolutie zich daardoor ook verder ontwikkeld.

Verwijzing naar toelichting in startnota (p52) omtrent het ontbreken van locatiealternatieven voor het onderdeel E40 tot aan E403. Er worden in de inspraak argumenten aangeleverd om de incorrectheid of onduidelijkheid te onderbouwen van deze toelichting. Er wordt verwezen naar de mogelijkheid om de E40 te volgen tot aan verkeerswisselaar E403.

Het planteam interpreteert dit als een vraag om het verder oostwaarts volgen van de E40 te beschouwen. Dit wordt in het onderzoek meegenomen als alternatief.

Elektromagnetische velden (EMV) - Blootstelling

De aanwezigheid van elektromagnetische velden (EMV) rond hoogspanningsinfrastructuur zorgt voor ongerustheid bij omwonenden. Uit de inspraakperiode over de startnota van het GRUP Ventilus bleek een grote bezorgdheid te bestaan over de impact van de magnetische velden van hoogspanningslijnen op de gezondheid. De (mogelijke) effecten van milieufactoren op gezondheid is een complexe materie. Er werd daarom een klankbordgroep gezondheid opgericht om duidelijkheid te scheppen over de studies en (mogelijke) effecten van hoogspanning op de gezondheid. Een aantal experten heeft via de inbreng van kennis en expertise de bestaande onderzoeken gevalideerd. Dit gebeurde door een overzicht te maken van alle wetenschappelijk onderbouwde kennis die is opgebouwd . Daarnaast heeft het planteam de vragen uit de inspraakperiode voorgelegd aan de experten. De samenstelling en werking van deze klankbordgroep is terug te vinden in de procesnota bij voorliggende scopingnota.

Voor de antwoorden op de vragen hieronder wordt gebruik gemaakt van de input die door deze klankbordgroep werd geleverd. Uitgebreidere informatie is te vinden in paragraaf 2.4.2 van de scopingnota.

1. Voorzorgprincipe

Vanuit het voorzorgprincipe is het niet verantwoord de bevolking bewust bloot te stellen aan elektromagnetische velden van hoogspanning. Geen hoogspanningslijn boven jonge bedrijven, woonwijken, ziekenhuizen, scholen of andere kwetsbare elementen, in lijn met het voorzorgsprincipe.

De Vlaamse overheid past het voorzorgsprincipe op volgende manier toe:

- Het overspannen van woningen, scholen en kinderdagverblijven bij nieuwe hoogspanningslijnen tot een minimum te beperken
- Geen nieuwe scholen en kinderdagverblijven in de magneetveldcontour van bestaande hoogspanningslijnen te plaatsen.

Het uitgangspunt is zo veel mogelijk vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waar er langdurige blootstelling is aan meer dan 0,4 µT. In de praktijk wil dit zeggen dat er bij de vergelijking van mogelijke trajecten rekening wordt gehouden met nieuwe overspanningen van woningen, scholen, kinderopvangvoorzieningen, onbebouwde woonpercelen. Het volledig vermijden van het overspannen van gebouwen is in een Vlaamse context onmogelijk gezien de verspreide dichte bebouwing.

De meeste experten van de klankbordgroep gezondheid geven aan dat er voorzorg nodig is en dat de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) daar een kader voor geeft. De manier waarop voorzorg wordt toegepast, bestaat dan uit de afweging van verschillende trajecten en opties en dat is onderdeel van de procedure die loopt voor het GRUP Ventilus. Of voorzorg nodig is, is volgens sommige experten, een politiek/maatschappelijke afweging die niet enkel afhangt van het oordeel van wetenschappelijke experten. De proportionaliteit van de maatregelen moet vervolgens bepaald worden bij de keuze van de tracés.

Voor werkplekken wordt aangenomen dat hier niet langdurig kinderen aanwezig zijn. Voor volwassenen zijn er geen gezondheidseffecten aangetoond in wetenschappelijk onderbouwd onderzoek, waardoor er geen voorzorg hoeft te worden toegepast.

De manier om te komen tot een selectie van redelijke tracé-alternatieven voor nieuwe bovengrondse hoogspanningsleidingen die in het plan-MER zullen worden onderzocht, is in de scopingnota beschreven in hoofdstuk 6.4.1.

Vraag tot uitvoeren van metingen van de huidige en toekomstige situatie (monitoring).

De experten van de klankbordgroep gezondheid raden een monitoring van de blootstelling van omwonenden aan in de vorm van een gerichte meetcampagne en raden aan om de opvolging van onderzoek naar de mogelijke gezondheidseffecten te blijven doen door het opvolgen van de wetenschappelijke literatuur.

Een hoogspanningslijn in werking zal magnetische velden genereren die op jaarniveau stabiel en voorspelbaar zijn. Bij de oplevering van de nieuwe hoogspanningslijn, via metingen aan een woning (in een 50 of 100 meter corridor) controleren of de berekeningen kloppen, vinden experten zinvol. Nadien kunnen metingen altijd uitgevoerd worden op vraag.

Metingen voor en na de aanleg van een hoogspanningslijn zijn, volgens de experten, aangewezen. Allereerst om te laten zien in hoeverre de magneetveldsterkte op een bepaalde plek door het aanleggen van de lijn verandert. Maar ook om te valideren of de modelberekeningen overeenkomen met de gemeten magneetveldsterktes. De mogelijkheid om de blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen in Vlaanderen te monitoren wordt onderzocht door de Vlaamse Overheid.

Als vandaag niemand met zekerheid kan zeggen dat het de gezondheid niet kan schaden, dan mag dit niet.

De wetenschappelijk onderbouwde kennis over de mogelijke gezondheidseffecten geven aanleiding tot voorzorg, maar zijn op basis van het proportioneel toepassen van het voorzorgsprincipe geen reden voor het niet laten doorgaan van het plan**.**

2. Mogelijk effecten op mens

Vraag naar onderzoek mogelijke effecten van EMV op meer dan 20% van het maximale vermogen van de voorgestelde hoogspanningslijnen.

Experten geven aan dat berekeningen met de piekbelasting moeten vergeleken worden met de limietwaarden voor acute effecten (100 µT in de Europese aanbeveling of 200 µT in de richtlijnen van ICNIRP). Vergelijken met de 0,4 µT is niet aangewezen, want die waarde is een gemiddelde over één jaar. Omdat de 0,4 µT magneetveldcontour en de daarmee geassocieerde stijging van het aantal gevallen van kinderleukemie zich als effect na langdurige blootstelling manifesteert, is de berekening van de piekbelasting niet nodig voor de bepaling van de mogelijke gezondheidseffecten. Het kan wel interessant zijn om ook de piekwaarden in een toekomstige monitoring of berekening op te nemen, en dit voor het verhogen van de transparantie van het project en om af te toetsen aan de grenswaarden voor acute blootstelling.

Het is enkel mogelijk om uitspraken te doen over langdurig gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 µT bij kinderen.

Als de effecten niet volledig gekend zijn, mag het project niet verder gaan.

De wetenschappelijke kennis over de mogelijke gezondheidseffecten geven aanleiding tot voorzorg, maar zijn op basis van het proportioneel toepassen van het voorzorgsprincipe geen reden voor het niet laten doorgaan van het project**.** Omdat er veel onzekerheid is over de gezondheidseffecten, lijkt het de meeste experten een overdreven maatregel om zulke projecten niet te laten doorgaan.

Vraag naar mogelijke effecten van EMV op de gezondheid van de mens in kaart te brengen, waaronder volgende symptomen/stoornissen/aandoeningen:

- **Hoofdpijn**
- **Oververmoeidheid**
- **Hartritmestoornissen**
- **Slapeloosheid**
- **Duizeligheid**
- **Wisselende suikerspiegel**
- **Oogproblemen**
- **Huidproblemen**
- **Piepende oren (tinitus)**
- **Depressieve gevoelens**
- **Spierzwakte**
- **Krampen**
- **Alzheimer**
- **Kanker**
- **Parkinson**
- **ALS**
- **Tintelingen**
- **Verminderde vruchtbaarheid**
- **Complicaties bij zwangerschap**

Experten volgen het onderzoek naar de effecten van magnetische velden verder op in de klankbordgroep gezondheid. Dat zorgt ervoor dat er steeds rekening gehouden wordt met de laatste stand van zaken van het wetenschappelijk onderbouwd onderzoek.

Het opstellen van een overzicht voor individuele symptomen is, volgens experten, niet evident, aangezien de meerderheid van wetenschappelijke studies zich concentreren op een problematiek, zoals kanker of elektrohypersensitiviteit (EHS). Voor elke problematiek worden mogelijke symptomen opgelijst, en vervolgens als groep bestudeerd.

Er is bijgevolg weinig data beschikbaar inzake het voorkomen van individuele symptomen en de relatie met blootstelling aan EMV. Dit gaat dan voornamelijk over:

- Hoofdpijn
- Oververmoeidheid
- Hartritmestoornissen
- Slaapproblemen
- Duizeligheid
- Wisselende suikerspiegel
- Oogproblemen

- Huidproblemen
- Piepende oren (tinitus)
- Depressieve gevoelens
- Spierzwakte
- Krampen
- Tintelingen
- Concentratiestoornissen
- Stress
- Chronische vermoeidheid
- Invloed op het mentale welzijn
- (Kriebeling huid, tinteling, elektrische schokken)
- Allergische reacties
- Reuma

Er werd al erg veel onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke gezondheidseffecten van wonen dichtbij hoogspanningslijnen. Bij volwassenen vonden wetenschappers geen verband met gezondheidseffecten. Bij kinderen werd een statistisch verband gevonden tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen (blootstelling aan meer dan 0,4 µT) en het meer voorkomen van kinderleukemie. Het gaat om een statistisch verband, dat wil niet zeggen dat aangetoond is dat magnetische velden de oorzaak zijn van het meer voorkomen van leukemie (dan zou het een oorzakelijk verband zijn). Over andere aandoeningen bij kinderen of volwassenen geeft het huidige onderzoek geen uitsluitsel. Het meeste onderzoek heeft zich gericht op neurodegeneratieve aandoeningen, die vooral bij oudere volwassenen optreden. Als een verband al bestaat, is het additionele risico op deze aandoeningen zeer beperkt en bovendien is er - op grond van wat nu bekend is - geen reden om dit te veronderstellen.

De experten van de klankbordgroep stellen voor om het wetenschappelijk onderzoek naar de mogelijke gezondheidseffecten van magnetische velden van hoogspanningslijnen verder op te volgen. De Vlaamse overheid zal daarom regelmatig een update vragen aan experten van het recente overzicht (https://researchportal.be/nl/publicatie/overzicht-van-recente-globale-evaluaties-van-de-potentiele-gezondheidsrisicos-van-0

Wat is het effect op melatonine (een door de epifyse geproduceerd hormoon dat o.a. een rol speelt in het bioritme en in immunologische reacties)?

Er is veel onderzoek beschikbaar over de invloed van magneetvelden op melatonine. Een overzicht staat in de EHC van de WHO (Environmental Health Criteria Monograph No.238 - Extremely Low Frequency Fields) © World Health Organization Geneva, 2007) De conclusie in 2007 was: 'However, the overall evidence suggests that human melatonin rhythms are not significantly delayed or suppressed by exposure to magnetic fields'. (Vertaling: "In het algemeen suggereren de feiten echter dat het melatonineritme bij de mens niet significant vertraagd of onderdrukt wordt door blootstelling aan magnetische velden").

Wat is de relatie van hoogspanningslijnen met (kinder)leukemie? Wat zijn de mogelijke effecten van EMV op lange termijn voor mens en dier?

De experten van de klankbordgroep geven aan dat uit epidemiologisch onderzoek volgt dat bij langdurige blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening in de woonomgeving bij waarden groter dan 0,4 µT een verhoging van het voorkomen van kinderleukemie wordt gevonden van de orde van grootte van een factor 2 (tussen 1.3 en 2.7).

Er is geen duidelijke dosis-effect relatie. Op basis van de epidemiologische studies is de waarde 0,4 µT het meest voor de hand liggend. Bij lagere waarden is de onzekerheid groter, bij huidig onderzoek vind je geen significant effect meer bij 0,3 µT. Er zijn ook geen meta-analyses die een significant risico vinden onder de 0,4 µT.

Of de magnetische velden de oorzaak zijn van het verhoogd voorkomen van kinderleukemie, is onzeker volgens de experten. Over andere aandoeningen bij kinderen of volwassenen geeft het huidige onderzoek geen uitsluitsel. Het meeste onderzoek heeft zich gericht op neurodegeneratieve aandoeningen, die vooral bij oudere volwassenen optreden. Als een verband al bestaat, is het additionele risico op deze aandoeningen zeer beperkt en bovendien is er - op grond van wat nu bekend is - geen reden om dit te veronderstellen.

Voor de mogelijke effecten op dier wordt verwezen naar het deel landbouw, waar dit besproken wordt voor allerlei types dieren.

Wat is de relatie van hoogspanningslijnen met fijn stof? Wat zijn de mogelijke effecten van geïoniseerd fijn stof? Wat gebeurt er bij een combinatie van fijn stof en magnetische velden?

Literatuuronderzoek van Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, Nederland), in 2007 en 2012, bevat een overzicht van het wetenschappelijk onderzoek op dat gebied. Op basis van die onderzoeken, is gebleken dat het niet aannemelijk is dat bovengrondse hoogspanningslijnen de schadelijke gezondheidseffecten van fijn stof beïnvloeden.

Vraag naar onderzoek mogelijke effecten 6 GW-lijnen. Welke veiligheidsafstand dient hierbij gehanteerd te worden?

De veiligheidsafstand die cfr. het KBEI gehouden moet worden tot geleiders van een 380kV-lijn bedraagt 6,8m. Die afstand is nodig om overslag van spanning te voorkomen

De rechtstreekse bron van het magnetisch veld is niet de spanning (380 kV), noch het vermogen (6 GW), maar de stroom die nodig is om dat vermogen bij die spanning over te brengen. De sterkte van het magneetveld neemt toe bij hogere belasting van een hoogspanningsverbinding. De magneetveldsterkte is evenredig met de stroom door de lijn, dus een twee keer zo hoge stroom (belasting) betekent een twee keer zo sterk magneetveld.

In het plan-MER zullen berekeningen gemaakt worden om de afstanden voor relevante magnetische velden te bepalen.

M.b.t. de vraag naar onderzoek over mogelijke effecten wordt verwezen naar de resultaten van de klankbordgroep gezondheid (scopingnota paragraaf 2.4.2).

Vraag naar onafhankelijk onderzoek mogelijke effecten dat verder gaat dan causaliteit.

Er werd al veel onafhankelijk onderzoek uitgevoerd naar magnetische velden en gezondheid waardoor bijkomend onderzoek in het kader van het Ventilusproject niet nodig is omdat er gesteund kan worden op bestaand onderzoek. Er wordt verwezen naar de resultaten van de klankbordgroep gezondheid (scopingnota paragraaf 2.4.2).

Resultaat van het beschikbaar wetenschappelijk onderbouwd onderzoek is dat er bij bevolkingsonderzoeken een statistisch verband gevonden werd tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en het meer voorkomen van kinderleukemie (relatief risico 1.3 tot 2.7). Het gaat om een statistisch verband, dat wil nog niet zeggen dat magnetische velden de oorzaak zijn van het meer voorkomen van leukemie (dan is het een oorzakelijk verband).

Wat is de relatie van de hoogspanningslijnen met laagfrequent geluid en mogelijke geluidshinder? Zou dit kunnen leiden tot VAD (Vibro Acoustic Disease)?

Geluidshinder in de buurt van hoogspanningslijnen doet zich voornamelijk voor bij vochtig, regenachtig, mistig weer en is onder meer te wijten aan het corona-effect (verwant aan Sint-Elmusvuur) en/of deelontladingen (plaatselijke doorslag van de lucht) en lekstromen. Er zijn geen aanduidingen dat hoogspanningslijnen geluid produceren op een niveau dat gezondheidsschade zou kunnen veroorzaken. De experten van de klankbordgroep gezondheid kennen geen gefundeerd wetenschappelijk onderzoek over de relatie van geluidshinder door hoogspanning en gezondheid (VAD).

Wat zijn de mogelijke effecten bij volledige belasting van de hoogspanningslijnen (korte en lange termijn)?

Als een hoogspanningslijn hoger belast wordt, dan wil dat zeggen dat er meer stroom vervoerd wordt. Dat heeft als gevolg dat de zone waar meer dan 0.4 µT kan voorkomen ook groter wordt en er dus mogelijk meer gebouwen in die zone terecht komen. Het statistisch verband met het meer voorkomen van kinderleukemie is echter na langdurige blootstelling aan meer dan 0.4 µT. Langdurig komt overeen met minstens gedurende één jaar elke dag gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 µT. Voor langdurige blootstelling is de jaargemiddelde belasting de zinvolle belastingswaarde.

Pieken in de belasting van hoogspanningslijnen zijn van veel kortere duur en daarom niet relevant als het gaat over langdurige blootstelling. Voor de acute blootstelling zijn deze wel relevant en wordt getoetst aan de daarbij horende toetsingswaarden.

3. Waarde elektromagnetische velden

Bij een hoogspanningstraject van 150 kV wordt de drempel van 0,4µT overschreden. Bij 380 kV is er minstens een verdubbeling. Klopt dit?

De grootte van de magnetische velden wordt niet veroorzaakt door de spanning (150 of 380 kV), maar door de hoeveelheid stroom die getransporteerd wordt en de configuratie van de masten.

De sterkte van het magneetveld neemt toe als er meer stroom vervoerd wordt door de hoogspanningsverbinding. De magneetveldsterkte is evenredig met de stroom door de lijn, dus een twee keer zo hoge stroom (belasting) betekent een twee keer zo sterk magneetveld.

In het MER zullen berekeningen gemaakt worden om de afstanden voor relevante magnetische velden te bepalen. Hierin zal rekening gehouden worden met de stromen door de lijnen, de afstanden tot de bodem, de configuratie van de geleiders, etc. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar de methodiek voor het milieuonderzoek (bijlage 12.5).

In andere landen hanteert men een drempel van 0,1µT of 0,2µT. Waarom hier niet?

De experten van de klankbordgroep gezondheid geven aan dat de focus op de 0,4 µT magneetveldcontour bij jaargemiddelde belasting een gerechtvaardigde benadering is op basis van het wetenschappelijk onderbouwd onderzoek. Het is enkel mogelijk om uitspraken te doen over langdurig gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 µT bij kinderen.

De experten van de klankbordgroep gezondheid verduidelijken dat er geen duidelijke dosis-effect relatie is. Op basis van de epidemiologische studies is 0,4 µT het meest voor de hand liggend. Bij lagere waarden is de onzekerheid groter, bij huidig onderzoek vind je geen significant effect meer bij 0,3 µT. Er zijn ook geen meta-analyses die een significant risico vinden onder de 0,4 µT. Er is dus geen reden om te toetsen aan waarden lager dan 0,4µT.

Er wordt gesteld dat de kans op kinderleukemie hoger voorkomt in de omgeving van bestaande hoogspanningslijnen (lijnen van 70-75 KV). Zal dit effect groter worden bij een 380 KV-lijn?

De magnetische velden worden veroorzaakt door de stroom die door de hoogspanningslijnen vervoerd wordt en niet door de spanning (bv. 380 kV). Er is dus geen reden waarom een 380kV-lijn een ander effect zou hebben als hoogspanningslijnen met een ander spanningsniveau.

Zal de waarde van de EMV proportioneel groter worden (verdubbeling) wanneer twee bovengrondse hoogspanningslijnen naast elkaar staan?

Dat hangt af van de configuratie van de geleiders, de richting van de stromen en de ligging van de hoogspanningslijnen ten opzichte van elkaar. Je kan dus zonder berekening niet zeggen wat het resulterende magnetische veld zal zijn. Een verdubbeling is onwaarschijnlijk.

Zal de belasting van de lijnen opgevolgd/gemonitord kunnen worden door particulieren?

De experten van de klankbordgroep gezondheid raden een monitoring van de blootstelling van omwonenden aan in de vorm van een gerichte meetcampagne en raden aan om de opvolging van onderzoek naar de mogelijke gezondheidseffecten te blijven doen.

Een hoogspanningslijn in werking zal veldsterkten genereren die stabiel en voorspelbaar zijn. Bij de oplevering van de nieuwe hoogspanningslijn via metingen aan een woning (in een 50 of 100 meter corridor) controleren of de berekeningen kloppen, vinden de experten zinvol. Nadien kunnen metingen altijd uitgevoerd worden op vraag.

Metingen voor en na de aanleg van een hoogspanningslijn zijn, volgens de experten, aangewezen. Allereerst om te laten zien in hoeverre de magneetveldsterkte op een bepaalde plek door het aanleggen van de lijn verandert. Maar ook om te valideren of de modelberekeningen overeenkomen

met de gemeten magneetveldsterktes. De mogelijkheid om de blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen in Vlaanderen te monitoren wordt onderzocht door de Vlaamse Overheid.

Welke gevolgen heeft een hoogspanningslijn ondergronds en/of op gelijkstroom voor de waarde van de EMV?

Afhankelijk van de configuratie van de geleiders kunnen de waarden van het magnetisch veld boven een ondergrondse verbinding veel hoger zijn dan voor een bovengrondse verbinding doordat de geleiders veel dichter bij het oppervlak zijn dan bij een luchtlijn. De geleiders bij een luchtlijn hebben dan weer een grotere onderlinge tussenafstand dan bij een ondergrondse verbinding waardoor over het algemeen de magnetische velden op grote afstanden lager zijn bij een ondergrondse dan bij een bovengrondse verbinding. Beiden hebben dus voor- en nadelen wat betreft magnetische velden.

Gelijkstroom veroorzaakt statische elektromagnetische velden, dat zijn velden van een ander type dan de variabele magnetische velden van wisselstroomverbindingen.

4. Effecten op technologie

Wat zijn de mogelijke effecten van EMV inzake storingen op andere frequenties en interferentie met elektronica, gehoorimplantaten, pacemakers, inwendige glucosesensors, implantaten en overige medische technologie?

Producenten van medische hulpmiddelen zijn wettelijk verplicht om ervoor te zorgen dat hun producten redelijkerwijze bestand zijn tegen interferentie en dat zij stelselmatig worden getest voor veldsterktes die in de openbare omgeving kunnen optreden. Het is dus erg onwaarschijnlijk dat deze toestellen kunnen verstoord worden.

Wat zijn de mogelijke effecten op ICT-infrastructuur? Wat is het risico op storingen van meetapparatuur, radio- en zendapparatuur? Wat is het risico op verstoring van lichtapparatuur?

De Richtlijn 2014/30/EU van het Europees Parlement en de Raad van 26 februari 2014 betreffende de harmonisatie van de wetgevingen van de lidstaten inzake elektromagnetische compatibiliteit (hierna: de "*EMC-richtlijn*") legt regels op aan elektrische toestellen en installaties om de storingen tot een minimum te beperken. Dit houdt in dat de uitrusting zelf geen magnetische storingen mag veroorzaken die ontoelaatbaar zijn, maar ook dat de uitrusting zelf goed moet kunnen functioneren in haar elektromagnetische omgeving. Hoogspanningslijnen veroorzaken dus geen risico.

De experten van de klankbordgroep gezondheid geven aan dat medische (meet)apparaten die toegelaten zijn tot de Europese markt geen storing van het magneetveld in de buurt van hoogspanningslijnen zouden mogen ondervinden.

Apparaten die toegelaten zijn tot de Europese markt mogen geen storing ondervinden van het magneetveld in de buurt van hoogspanningslijnen. Producenten van actieve medische hulpmiddelen moeten zich houden aan wettelijk verplichtingen en zorgen dat producten op redelijkerwijze bestand zijn tegen interferentie. Bovendien moeten medische hulpmiddelen stelselmatig worden getest voor veldsterktes die in de openbare omgeving kunnen optreden. Het is dus erg onwaarschijnlijk dat deze toestellen kunnen verstoord worden. In realiteit moet alle apparatuur die na 1 januari 1995 in gebruik is genomen voldoen aan de laatste richtlijnen van de Europese Commissie.

In de praktijk bereiken producenten conformiteit met de essentiële eisen van de richtlijn betreffende medische hulpmiddelen door hun producten te vervaardigen overeenkomstig een geharmoniseerde norm. In verband met immuniteit voor interferentie met medische elektronische apparatuur en hulpmiddelen is de belangrijkste norm EN 60601-1-2 (2014). Voor actieve geïmplanteerde medische hulpmiddelen zijn onder meer geharmoniseerde normen EN 45502-1 en EN 45502-2-X relevant.

5. Overige

Wat is de reikwijdte van EMV bij verschillende belastingen? Hierbij dient tot verder dan 100% (bij overbelasting) te worden gegaan in plaats van 20% en 30%.

Voor de toetsing aan EMF-waarden zal gebruik gemaakt worden van de bijbehorende relevante belastingen.

Hoe hoger de belasting van de lijn, hoe meer stroom er vervoerd wordt en hoe breder de zone is waar meer dan 0.4 µT kan voorkomen en hoe hoger de waarde dicht bij de lijn.

De waarden die gebruikt zullen worden staan beschreven in de methodiek van het milieuonderzoek.

Volgens de Europese regelgeving mag op geen bovengrondse hoogspanningslijn een groter voltage dan 380kV staan. Kan die drempel overschreden worden bij de voorgestelde alternatieven? Wat als die drempel overschreden wordt?

Een dergelijke regelgeving en drempelwaarde is het planteam niet gekend. Het spanningsniveaus van 380kV is zeker niet de hoogste spanning in Europa.

Het hoogste spanningsniveau in Europa is 750kV. Dit wordt gebruikt voor een aantal verbindingen met Rusland. Onder andere in Polen en Bulgarije zijn er dergelijke verbindingen. In België wordt 380 kV als referentieniveau gebruikt, 380 kV wordt niet gebruikt als drempelwaarde in het verdere onderzoek.

Voor het overige is het hoogste spanningsniveau van het Europese hoogspanningsnet met wisselstroom gestandaardiseerd op 380-400kV. In realiteit varieert de spanning doorheen de tijd en is op verschillende plaatsen van het hoogspanningsnet anders. De spanning wordt binnen bepaalde grenzen gehouden voor een goede werking van het systeem. Voor 380-400kV wil dit 370kV tot 420kV zeggen, waarbij 420kV de maximaal toegelaten spanning is om het hoogspanningsmateriaal in België veilig te laten werken. In België werd 380kV als referentieniveau genomen en noemen we ons hoogste spanningsniveau daarom 380kV. In andere landen gebruikt met 400kV; dit komt in de praktijk echter op hetzelfde neer.

Het spanningsniveau ligt vast door de technische/fysieke kenmerken van de installaties. Het spanningsniveau vormt onderdeel van de vergunningsaanvragen.

Vraag naar een onafhankelijke studie (niet door Elia).

Er is al heel wat internationaal onderzoek uitgevoerd naar magnetische velden en gezondheid. Deze studies zijn onafhankelijk van Elia uitgevoerd. Een recent overzicht werd gepubliceerd op het onderzoeksportaal van de Vlaamse overheid (https://researchportal.be/nl/publicatie/overzicht-van-recente-globale-evaluaties-van-de-potentiele-gezondheidsrisicos-van-0).

Vanuit de inspraakreacties, adviezen en petities werd divers mogelijk bronnenmateriaal aangereikt zoals o.a. data die beschikbaar zijn bij Natuurpunt, het INBO, … Deze info zal nagekeken worden en gebruikt wanneer relevant.

1. Algemene methodologie

Er wordt gewezen op het verband met het complex project Kustvisie dat voorziet in een zeewering i.f.v. een zeespiegelstijging van 3m tegen 2100.

Het project Kustvisie wordt in §9.3.7 van de scopingnota vermeld als een mogelijk relevant ontwikkelingsscenario. Een ontwikkelingsscenario is een beschrijving van de veronderstelde gezamenlijke evolutie (autonoom en gestuurd) van een set omgevingsvariabelen binnen het studiegebied. Zo'n ontwikkelingsscenario geeft dus aan hoe de omgeving van het plangebied kan evolueren los van de invloed van het planvoornemen. In de plan-MER zal nagegaan worden of onderhavig planvoornemen de opzet van Kustvisie niet hypothekeert, daar waar relevant en mogelijk.

Er wordt gevraagd tot duidelijkheid omtrent de noodzakelijke milderende maatregelen en flankerende maatregelen.

Indien vanuit het milieueffectenonderzoek aanzienlijke negatieve effecten worden verwacht, dan zullen milderende maatregelen geformuleerd worden. Deze maatregelen zijn er op gericht om de negatieve milieueffecten milderen, vermijden of voorkomen.

Daarnaast kunnen er ook aanbevelingen geformuleerd worden ter verbetering van het plan, bij bijv. beperkt negatieve of verwaarloosbare effecten.

Het onderscheid en het al dan niet dwingende karakter van de maatregelen zal in het plan-MER worden verduidelijkt.

Op basis van het geïntegreerd onderzoek en de maatregelen die hieruit zijn voorgesteld, zal de oefening gemaakt worden om de doorwerking in het GRUP te implementeren. Dit kan door keuze of aanpassing van het grafisch plan, opname als stedenbouwkundig voorschrift, flankerend beleid gekoppeld aan het GRUP (inzet andere instrumenten), … Artikel 2.2.5, § 1, 8° van de VCRO verplicht de plannende overheid immers om in het RUP een overzicht op te nemen van de conclusies van het plan-MER, waarbij aangegeven wordt hoe die geïntegreerd zijn in het plan.

Bijkomende uitleg omtrent milderende maatregelen, aanbevelingen en flankerende maatregelen kan gevonden worden in §9.3.9 van de scopingnota.

Kan er een cumulatie optreden met andere projecten/ingrepen/ontwikkelingen: windmolens, infrastructuurwerken, gasleidingen, bijkomende hoogspanningslijnen (bundeling)?

Om de eventuele cumulatieve effecten met andere ontwikkelingen in beeld te brengen, zal in stap 2 van het milieueffectenonderzoek nagegaan worden welke ontwikkelingen of bestaande aanwezigheden een interferentie kunnen betekenen met het voorgenomen plan van Ventilus. Hierbij

zal o.a. rekening gehouden worden met vergunde windmolens, bestaande gasleidingen en hoogspanningsverbindingen, … en de benodigde afstanden die hiertoe moeten gehouden worden. Daarnaast zal ook nagegaan worden of bepaalde plannen of visies die nog geen uitvoering kennen, kunnen gehypothekeerd worden door het voorgenomen plan Ventilus (zie 9.3.7 van de scopingnota).

In Zeebrugge wordt een nieuwe zeesluis voorzien t.h.v. de huidige Visartsluis. De wegenis tussen de N31 en de sluis zullen hierop aangepast worden. Zijn er mogelijkheden tot coördinatie mogelijk met de werken voor de nieuwe zeesluis, ingeval gekozen wordt voor een aanlanding in Zeebrugge?

Het complex project 'nautische toegankelijkheid (achter)haven van Zeebrugge wordt in §9.3.7 van de scopingnota vermeld als een ontwikkelingsscenario. Binnen het complex project worden op dit moment een aantal alternatieven onderzocht voor de aanleg van de nieuwe wegenis, in afstemming met de alternatieven voor de aanleg van een nieuwe sluis t.h.v. de huidige Visartsluis. Hoe concreter de uitwerking wordt in het complex project, hoe duidelijker de eventuele interferentie of opportuniteiten zal moeten blijken met voorgenomen plan van Ventilus. Afstemming tussen beide zal, waar mogelijk, voorzien worden.

Er wordt gevraagd om rekening te houden met verschillende weersomstandigheden (droog, nat, mistig en storm) bij alle impactanalyses.

Bij de milieueffectbeoordeling wordt per effectgroep uitgegaan van een worstcase scenario. Waar relevant wordt het weer als factor meegenomen, hierbij zal dus uitgegaan worden van de weersomstandigheden die de grootst mogelijke impact hebben op de te onderzoeken effectgroep. Voor de bovengrondse luchtlijnen zal voor de discipline geluid vochtig, nat weer de worst-case weersituatie zijn, gezien onder die omstandigheden een corona-effect kan optreden. Voor de effectgroepen landschapsbeeld en visuele verstoring zal mooi en helder weer de worst-case zijn, gezien onder die weersomstandigheden de masten en geleiders het best zichtbaar zullen zijn.

2. Discipline bodem

Voorliggend project kan leiden tot profielverstoring: permanente effecten zijn niet uit te sluiten bij ondergrondse verbindingen. Dit kan ook nadien een impact hebben op de bodemgeschiktheid voor landbouwgebruik.

In paragraaf 5.1 van bijlage 2 wordt duidelijk gesteld dat effecten op bodemprofielvernietiging en verstoring relevant zijn bij de aanleg van ondergrondse kabels in open sleuf, en dit ter hoogte van bodems die kwetsbaar zijn voor profielvernietiging. Dit zal verder onderzocht worden in het plan-MER. De eventueel afgeleide effecten naar landbouwgebruik zullen aan bod komen in de discipline mens-ruimtelijke aspecten (onderdeel landbouw), zie paragraaf 5.7.1. van bijlage 2. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van bodems welke gevoelig zijn voor profielverstoring kan er één van zijn.

Vraag om de opwarming van de bodem door ondergrondse verbindingen volwaardig te onderzoeken en passende maatregelen te treffen.

In paragraaf 5.1 van bijlage 2 bij de scopingnota wordt verduidelijkt waarom mogelijke opwarmingseffecten bij de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen niet verder onderzocht worden. In bijlage 8 kan teruggevonden worden welke passende maatregelen reeds standaard worden toegepast door uitvoerder Elia bij aanleg van ondergrondse kabels. Inzake de eventueel afgeleide effecten naar landbouwgebruik blijkt uit de studie van ILVO (zie bijlage 7 van de scopingnota) dat in de bestaande literatuur geen significante impact gevonden wordt tengevolge bodemopwarming t.a.v. het bodem(leven) en het vochtgehalte.

De strandzone tussen Wenduine en Blankenberge is erg onderhevig aan erosie, geen goede optie om aan land te komen.

Het voorgenomen plan voorziet geen gewijzigd bodemgebruik ter hoogte van de strandzones. Permanente reliëfwijzigingen zijn vanuit het planvoornemen eveneens niet aan de orde. Uitvoering van het planvoornemen zal het risico op bodemstabiliteit en erosie niet wijzigen. Deze effectgroep zal ter hoogte van de strandzones niet nader onderzocht te worden in de plan-MER.

3. Discipline water

Wat is de impact bij een aanlanding in Zeebrugge en een onderboring van het natuurreservaat en VEN-gebied De Fonteintjes (o.a. omwille van doorbreken van de zoetwaterlens)?

In paragraaf 2.2 van bijlage 2 bij de scopingnota wordt verduidelijkt dat t.h.v. de aanlanding in Zeebrugge er geen permanent negatieve effecten te verwachten zijn op grondwaterhuishouding en -stroming. Indien voor de aanleg van de ondergrondse kabels onder het gebied van de Fonteintjes een bemaling nodig blijkt (op heden nog niet geweten of en hoe diep), dan zijn er voldoende technieken/mogelijkheden beschikbaar naar projectuitvoering om een eventuele invloed te milderen of te voorkomen, analoog aan de genomen maatregelen bij de reeds bestaande onderboringen onder de Fonteintjes. De uitvoerder Elia past de nodige en beschikbare maatregelen ook standaard toe tijdens de aanlegfase (zie bijlage 8 van de scopingnota).

Wat is de impact op de zone van De Spie (bevat zeer waardevolle graslanden met het EKBG-statuut, zijnde ecologisch kwetsbaar blijvend grasland)?

De effectgroep biotoopverlies zal voor alle mogelijke locaties van het nieuwe hoogspanningsstation meer in detail onderzocht worden in het plan-MER. Ook onrechtstreekse effecten zoals biotoopverlies of biotoopwijziging door een wijziging in de grondwaterkwaliteit of –kwantiteit worden verder onderzocht in het MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

Er kan hierbij ook nog worden gewezen op het onderscheid dat bestaat tussen (1) "*bijzonder waardevolle historisch permanente kustpoldergraslanden*" en (2) "*ecologisch kwetsbaar blijvende graslanden (EKBG)*":

- De **bijzonder waardevolle historisch permanente kustpoldergraslanden** zijn historisch permanente graslanden die, naast hun aanduiding als historisch permanent grasland, ook gelegen zijn in één van de gebieden, zoals bedoeld in artikel 7 van het besluit van de Vlaamse regering van 23 juli 1998 tot vaststelling van nadere regels ter uitvoering van het decreet van

21 oktober 1997 betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu (hierna: het "*Natuurbesluit*") dat een verbod op vegetatiewijzigingen instelt of artikel 8 van het Natuurbesluit dat een vergunningsplicht voor vegetatiewijzigingen instelt. Deze graslanden genieten een bescherming op basis van de **natuurregelgeving**.

- De **ecologisch kwetsbaar blijvende graslanden (EKGB)** zijn de overige als historisch permanent grasland aangewezen poldergraslanden die niet in één van voormelde gebieden zijn gelegen. Zij genieten geen bescherming op basis van de natuurregelgeving, maar moeten worden gekaderd binnen de **landbouwregelgeving**.

Wat is de impact op de zone Blauwe Toren (o.a. parkbegraafplaats Brugge, met waardevolle graslanden en bos, laatste restant van een polderbos)?

De effectgroep biotoopverlies zal voor alle mogelijke locaties van het nieuwe hoogspanningsstation meer in detail onderzocht worden in het plan-MER. Ook onrechtstreekse effecten zoals biotoopverlies of biotoopwijziging door een wijziging in de grondwaterkwaliteit of –kwantiteit worden verder onderzocht in het MER. Hierbij zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van waardevolle graslanden of bossen kan er één van zijn.

Vraag of de grondwaterhuishouding zal wijzigen bij de aanleg van de mastvoeten?

Voor het aanleggen van nieuwe masten zal in de meeste gevallen een tijdelijke bemaling noodzakelijk zijn. In een plan-MER worden tijdelijke effecten tijdens de aanlegfase niet besproken, tenzij ze kunnen leiden tot permanente negatieve effecten. In de scopinganalyse (paragraaf 4.2 van bijlage 2 bij de scopingnota) werd aangetoond waarom geen permanente effecten te verwachten zijn ten gevolge van mogelijke tijdelijke bemalingen in functie van de aanleg van mastvoeten.

Uit de discipline water komt naar voor "dat voor de aanleg van ondergrondse verbindingen eventuele permanente hydrologische veranderingen (uitdroging/vernatting) na de werken ingevolge het doorbreken van waterdichte lagen en/of het aansnijden van watervoerende lagen (voor zover die aanwezig zouden zijn), op voorhand niet uitgesloten kunnen worden. Hierdoor zou in bepaalde gevallen ook verontreiniging kunnen ontstaan in watervoerende lagen. Daarnaast zijn eventueel permanente hydrologische veranderingen mogelijk ten gevolge van drainerende effecten van de sleuf. De oorzaak van een gewijzigde grondwaterstijghoogte is in veel gevallen een ongewenste aantakking van een verzadigd dolomiettracé (waarin de kabels worden voorzien) aan een waterloop waarvan het waterpeil een andere stand of regime kent dan de aangrenzende watertafel. De invloedstraal kan lang zijn en vele 100'den m bedragen. Alles hangt af van de precieze positie van het dolomietbed en het potentiaalverschil tussen de aangetakte waterloop en de watertafel in en rond het dolomietbed. Hier kunnen zelfs seizoeninvloeden een rol spelen. Waterlopen die doorgaans drainerend werken kunnen dan plots een irrigerende werking hebben op de watertafel in de aangrenzende percelen." Deze hydrologische veranderingen kunnen bijgevolg een serieuze impact genereren op aanpalende landbouwpercelen. Een gedegen onderzoek hieromtrent in de plan-MER is noodzakelijk voor het bepalen van geschikte tracés en om eventueel gepaste milderende maatregelen te kunnen voorzien.

In de scopinganalyse (paragraaf 5.2 van bijlage 2 bij de scopingnota) werd gemotiveerd waarom geen permanente hydrologische veranderingen te verwachten zijn door het dolomietbed. Om permanente

effecten op het watersysteem te vermijden, worden kruisingen van waterlopen uitgevoerd als gestuurde boringen of worden kleistoppen geplaatst zodat het warmte-verspreidend materiaal hydrologisch gescheiden wordt van oppervlaktewaters en geen drainerend effect van het grondwater kan hebben. Deze maatregel wordt standaard toegepast door Elia bij de aanleg van ondergrondse kabels (zie bijlage 8 van de scopingnota) en kan overal toegepast worden waar nodig.

De bepaling van de locaties waar deze maatregel nodig zal zijn, is dus niet noodzakelijk in het plan-MER en het GRUP. Dit is pas noodzakelijke informatie op uitvoeringsniveau, en zal geëvalueerd worden bij de omgevingsvergunningsaanvraag (inclusief project-MER).

Vraag of de grondwaterhuishouding zal wijzigen bij de aanleg van een ondergrondse leiding?

Eventuele permanente hydrologische veranderingen door de aanwezigheid van een dolomietbed zullen niet verder in detail onderzocht worden in de plan-MER. Zie uitleg op voorgaande reactie en de motivering in paragraaf 5.2 van bijlage 2 bij de scopingnota. Een eventuele bemaling tijdens de aanlegfase kan mogelijks leiden tot negatieve effecten. Gezien de schaalgrootte/afstand van de tracés waar er mogelijks moet bemaald worden, en de onduidelijkheid van duur van herstelperiode achteraf, zal deze effectgroep wel verder in detail onderzocht worden in het plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag of de grondwaterkwaliteit zal wijzigen bij de aanleg van een ondergrondse leiding? Kan dit leiden tot verzilting? Bijvoorbeeld t.h.v. de Oudemaarspolder t.a.v. grondwaterafhankelijke vegetaties.

De effectgroep grondwaterkwaliteit (in het kader van grondwaterverontreiniging) zal op zich niet verder onderzocht worden in de plan-MER, de motivering hiervoor is opgenomen in paragraaf 5.1 en 5.2 van bijlage 2 bij de scopingnota .

Een eventuele bemaling tijdens de aanlegfase kan mogelijk leiden tot negatieve effecten op voorkomende vegetatie, zowel door de tijdelijke grondwaterstandsdaling als door een tijdelijke wijziging van het zoet/zout evenwicht. Gezien de schaalgrootte/afstand van de ondergrondse tracés waar er mogelijks moet bemaald worden, en de onduidelijkheid van duur van herstelperiode achteraf, zal deze effectgroep wel verder in detail onderzocht worden in het plan-MER. De mogelijke afgeleide effecten naar vegetatie zullen in de discipline biodiversiteit aan bod komen (zie paragraaf 5.3 van bijlage 2 bij de scopingnota). Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van waardevolle graslanden welke afhankelijk zijn van zilte kwel kan er één van zijn.

Vraag om maatregelen in kader van de waterhuishouding en waterberging binnen het plangebied op te nemen (geen bijkomende ruimte-inname of hinder voor landbouw).

De mogelijke effecten op de overstromingsgevoeligheid bij het aanleggen / uitbreiden van hoogspanningsstations en bij het aanleggen van bovengrondse verbindingen wordt meer in detail onderzocht in het plan-MER. Vanuit het milieueffectenonderzoek kunnen in stap 2 van het MER concrete maatregelen voorgesteld worden om te verwachten effecten te beperken of te voorkomen. Hoe en waar deze maatregelen moeten toegepast worden, zal uit de plan-MER moeten blijken. Indien deze maatregelen een afgeleid negatief effect kunnen veroorzaken in een andere discipline (bijv.

mens-ruimtelijke aspecten, onderdeel landbouw) dan zal dit eveneens beschreven en beoordeeld worden.

Vraag tot vermijden van waterlopen: Moubeek, Zabbeek, Rhodebeek, ...

De mogelijke effecten op de waterlopen bij het aanleggen / uitbreiden van hoogspanningsstations wordt meer in detail onderzocht in het plan-MER. Vanuit het milieueffectenonderzoek kunnen in stap 2 van het MER concrete maatregelen voorgesteld worden om te verwachten effecten te beperken of te voorkomen. Hoe en waar deze maatregelen moeten toegepast worden, zal uit de plan-MER moeten blijken. Indien deze maatregelen een afgeleid negatief effect kunnen veroorzaken in een andere discipline (bijv. mens-ruimtelijke aspecten, onderdeel landbouw) dan zal dit eveneens beschreven en beoordeeld worden.

Er wordt gewezen op een raamakkoord tussen de overheid, landbouwers en natuurverenigingen in de Oostkustpolder i.f.v. een aantal projecten, in eerste instantie in kader van een waterpeilverhoging. Vraag naar de impact van eventuele bemalingen van dit project op dit akkoord?

De mogelijke effecten van het planvoornemen op het waterpeil worden onderzocht in de plan-MER. Vanuit de plan-MER kunnen in stap 2 van het MER concrete aanbevelingen of milderende maatregelen voorgesteld worden om mogelijke effecten te beperken. Hoe en waar deze maatregelen moeten toegepast worden, zal uit de plan-MER moeten blijken. Indien deze maatregelen een afgeleid negatief effect kunnen veroorzaken in een andere discipline (bijv. mens-ruimtelijke aspecten, onderdeel landbouw) dan zal dit eveneens beschreven en beoordeeld worden.

4. Discipline biodiversiteit

Vraag naar de impact op Natura 2000 gebieden (Habitatrichtlijn, Vogelrichtlijn). Zal er rekening worden gehouden met zoekzones en het compensatiegebied voor de haven Zeebrugge en dergelijke?

De mogelijke effecten van het planvoornemen op Natura 2000-gebied zullen onderzocht worden in een Passende Beoordeling. Hierbij wordt inderdaad ook rekening gehouden met de zoekzones en de reeds gerealiseerde compensaties voor de achterhaven van Zeebrugge.

Vraag naar de impact op VEN.

De mogelijke impact van het planvoornemen op het voorkomend VEN-gebied zal onderzocht worden.

Vraag naar de impact op permanent historische graslanden.

De mogelijke impact van het planvoornemen op historisch permanente graslanden zal onderzocht worden in de plan-MER. Hierbij zullen, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

Vraag naar de impact op kleine landschapselementen (KLE).

De mogelijke impact van het planvoornemen op KLE zal onderzocht worden in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende of compenserende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van KLE's of het voorzien van compensatie zijn mogelijk maatregelen.

Vraag tot vermijden van bossen en (beschermde) natuur(gebieden). Vraag naar de impact op deze nabijgelegen of betrokken (natuur)gebieden: Moubekevallei, Litterveldbos, Hospitaalbos, Plaisiersbos, bos Van Caloen, Vloethemveld, Groenhovebos (inclusief uitbreidingszone langsheen E403), Huwynbos, Groenhovevallei, Uitkerkse Polders (historische poldergraslanden), Schobbejak, Doeveren, Hoogveld, Rhodesgoed (stadsbos in ontwikkeling), Wallemote-Wolvenhof, De Pilse, Vrijgeweid (akkervogels), Zwaanhoek, Houtave, De Pilse, Dudzeelse Polders, Speien, …

De mogelijke relevante effecten op de voorkomende bossen en (waardevolle) natuur(lijke)(gebieden) ten gevolge van het planvoornemen worden besproken en beoordeeld in de plan-MER, conform de scopinganalyse die werd uitgevoerd in paragrafen 2.3, 3.3, 4.3 en 5.3 van bijlage 2 bij de scopingnota. Hierbij zal niet alleen gekeken worden naar directe effecten zoals 'biotoopverlies of -wijziging en verlies leefgebied', maar zal uiteraard ook rekening gehouden met indirecte effecten door relevante wijzigingen in condities (verstoring via geluid, licht,… of wijziging in bodem of water) en wijzigingen in relaties ('connectiviteit en migratie'). Indien noodzakelijk zullen er milderende of compenserende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van bossen en (beschermde) natuur(gebieden) of het voorzien van compensatie zijn mogelijke maatregelen.

Vraag naar de impact op de weidevogelgebieden (bijv. Zwaanhoek), broedgebieden, foerageergebieden, watervogelgebieden (bijv. Speien als kerngebied voor kleine rietgans, grote aantallen van kleine rietgans van internationale betekenis), ... Zal er ook rekening worden gehouden met mogelijke versnippering en verlies aan ruimte geschikt voor broedhabitat in deze gebieden door de aanwezigheid van luchtlijn/pylonen (bijv. voor ruimte-behoevende soorten als de grutto, kievit, veldleeuwerik, voor noodzaak samenhangende open landschappen en graslandhabitats voor kleine rietgans)? Vraag naar de impact op de akkervogels (en de akkervogelprojecten die ondersteund worden door de VLM o.a. t.h.v Vrijgeweid). Vraag naar de impact op vogeltrekroutes. Zal er rekening worden gehouden met de uitgevoerde risicoanalyse voor vogelslachtoffers?

De mogelijke impact van het planvoornemen op de gebieden welke van belang zijn met betrekking tot avifauna zullen onderzocht worden in de plan-MER (o.a. mogelijke verstoring door (nieuwe) luchtlijnen en de daarmee gepaard gaande versnippering van broed- en foerageergebieden, het mogelijk aanvaringsrisico, mogelijke impact op de vegetatie, …). Met betrekking tot het aanvaringsrisico wordt rekening gehouden met de bestaande recente risicoanalyses inzake het aanvaringsrisico (o.a. het geüpdatet rapport van Natagora). Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van zones met een verhoogd aanvaringsrisico kan er één van zijn.

Vraag naar de impact op de duinen. Er wordt verwezen naar gebieden beschermd door het Duinendecreet. Vraag naar de impact op de waterhuishouding inzake verzilting of verdroging.

In de plan-MER zal de impact op de gebieden die beschermd zijn volgens het Duinendecreet worden besproken en beoordeeld, waar van toepassing.

Ook de mogelijke permanente impact ten gevolge van verzilting of verdroging zullen besproken worden in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op de vegetatie nabij de masten.

In de exploitatiefase wordt het afsterven van bomen of planten ter hoogte van bovengrondse verbindingen niet verwacht. De mogelijke effecten binnen de veiligheidszone worden besproken in de plan-MER. Indien dit noodzakelijk is, zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Wordt er rekening gehouden met de huidige aanwezigheid van vogels (kerkuil, groene specht, Vlaamse gaai, bonte specht, tjif tjaf, (boeren)zwaluw, buizerd, valk, mus, bosuil, kwikstaart, eend, mezen, vink, steenuil, torenvalk, ekster, ganzen (o.a. vriesgans, kleine rietgans, kolgans), nachtegaal, ransuil, pimpelmees) (niet limitatieve opsomming)?
Wordt er rekening gehouden met de huidige aanwezigheid van andere fauna (vleermuis, vos, ree, marter, eekhoorn, haas, pad, kikker) (niet limitatieve opsomming)?

Permanente effecten van het planvoornemen ten aanzien van de voorkomende fauna worden algemeen besproken in het plan-MER. Er worden echter geen detailinventarisaties uitgevoerd om de voorkomende soorten in beeld te brengen. Eventuele effecten worden niet soort per soort besproken en beoordeeld. Wel wordt rekening gehouden met de verschillen in habitatgebruik (vb overwinterende vogels, broedvogels) zodat de effecten op de biodiversiteit gekend zijn. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op vogels (aanvaringsrisico, aantasting leefgebied, verstoring vliegroutes, mogelijkheid tot 'overslag' door elektrisch veld of potentiaalverschil in het lichaam van een vogel).
Vraag naar de impact op fauna (leefgebied, verstoring, barrièrewerking, EMF (o.a. vroeggeboortes, misvormingen).
Vraag naar de impact op vleermuizen (verlies van schuil- en broedplaatsen, verstoren van vliegroutes (fourageren).

De mogelijke impact van het planvoornemen op de gebieden die van belang zijn met betrekking tot fauna zullen onderzocht worden in de plan-MER (o.a. mogelijke verstoring door (nieuwe) luchtlijnen en de daarmee gepaard gaande versnippering van broed- en foerageergebieden, het mogelijk aanvaringsrisico, mogelijke impact op de vegetatie,…). Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

In paragrafen 2.3.1, 3.3.1, 4.3.1, 5.3.1 van bijlage 2 bij de scopingnota wordt beschreven en gemotiveerd waarom de invloed van EMF op fauna niet verder kan onderzocht worden in de plan-MER.

In bijlage 7 van de scopingnota kan de studie van het ILVO geraadpleegd worden. In deze studie werd o.a. nagegaan welke wetenschappelijke kennis reeds beschikbaar is omtrent de invloed van EMF op landbouwdieren. Uit deze studie bleek dat er nog veel leemten in de kennis hieromtrent zijn.

Vraag naar de impact op (huis)dieren. Bijv. op gedrag en vruchtbaarheid?

In paragrafen 2.3.1, 3.3.1, 4.3.1, 5.3.1 van bijlage 2 bij de scopingnota wordt beschreven en gemotiveerd waarom de invloed van EMF op fauna niet verder kan onderzocht worden in de plan-MER.

In bijlage 7 van de scopingnota kan de studie van het ILVO geraadpleegd worden. In deze studie werd o.a. nagegaan welke wetenschappelijke kennis reeds beschikbaar is omtrent de invloed van EMF op landbouwdieren. Uit deze studie bleek dat er nog veel leemten in de kennis hieromtrent zijn.

Vraag naar de impact op insecten? Kan dit project de bijen verstoren? Zal dit project bijgevolg impact hebben op de bestuiving van planten en de productie van honing?

In bijlage 7 van de scopingnota kan de studie van het ILVO geraadpleegd worden. In deze studie werd o.a. nagegaan welke wetenschappelijke kennis reeds beschikbaar is omtrent de invloed van EMF op nuttige organismen voor de landbouw (o.a. bijen). Uit deze studie bleek dat de kennis over een impact eerder beperkt en niet eenduidig is. Negatieve gevolgen voor het leervermogen, geheugen en agressief gedrag van bijen zijn mogelijk, maar met de bestaande wetenschappelijke literatuur is het niet mogelijk om sluitende conclusies te maken voor de veldsterktes die realistisch zullen zijn voor het project Ventilus. Om die reden kan de invloed van EMF niet verder onderzocht worden in de plan-MER.

Vraag of er maatregelen zullen genomen worden als gevolg van biotoopverlies of -wijziging. Vraag om de natuur- en boscompensaties lokaal te voorzien.

Nadat de mogelijke effecten (bijv. biotoopverlies of -wijziging) in beeld zijn gebracht in het plan-MER, zal nagegaan worden of (afhankelijk van ernst/grootte van het te verwachten effect) en als zo, welke milderende of compenserende maatregelen nodig zijn, en (als mogelijk) waar deze dan uiteraard best toegepast/gerealiseerd worden.

Vraag om de mogelijkheid tot het creëren van win-winsituaties te onderzoeken (bijv. door het tracé laten dienen als een natuurverbindingscorridor).

Eén van de doelstellingen van het GRUP is een kader scheppen voor het realiseren van flankerende maatregelen. Dat kunnen zowel flankerende maatregelen zijn om de leefbaarheid van bepaalde gebieden te verhogen, als maatregelen om de gebiedsinpassing van het planvoornemen te bevorderen en de ruimtelijke kwaliteit van de omgeving te verbeteren. Dit betekent dat ook kan worden gekeken naar mogelijke kansen en opportuniteiten die worden gecreëerd met voorliggend planvoornemen.

Vraag naar de impact op het RUP Mandelvallei Kachtem (versterking groenstructuur langsheen de Mandel, maar ook langsheen de Balliebeek en de Rhodebeek naar Rhodesgoed toe, creëren van een ecologische as, landschap versterken door visueel versterken van de kleine landschapselementen en verdere inrichting).

De impact op de ruimtelijke structuur en de wisselwerking met de ruimtelijke context zal algemeen besproken worden in de plan-MER. Daarnaast is één van de doelstellingen van het GRUP een kader te scheppen voor het realiseren van flankerende maatregelen. Dat kunnen zowel flankerende

maatregelen zijn om de leefbaarheid van bepaalde gebieden te verhogen, als maatregelen om de gebiedsinpassing van het planvoornemen te bevorderen en de ruimtelijke kwaliteit van de omgeving te verbeteren. Dit betekent dat ook kan worden gekeken naar mogelijke kansen en opportuniteiten die worden gecreëerd met voorliggend planvoornemen.

5. Discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Vraag naar de impact op de relictzones (en het hierin voorziene streven om oorspronkelijke landschapselementen in ere te herstellen of te behouden).

Er geldt geen specifieke bescherming ten aanzien van relictzones. Deze zones zullen dan ook niet afzonderlijk besproken worden, doch de effecten op landschapsatlasrelicten (de vroegere ankerplaatsen uit de landschapsatlas) worden wel onderzocht in het plan-MER (discipline 'Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie').

Vraag naar de impact op de openheid en karakter van het polderlandschap (slotenrijk, historisch permanente graslanden, typerende kleine landschapselementen zoals rietkragen en knotbomen, …). Vraag naar de impact op de Oudemaarspolder. Vraag naar de impact op de landschappelijke waarde van open ruimte gebieden.

De impact van het planvoornemen op de landschappelijke waarden van het polderlandschap en andere openruimte gebieden (bijv. Moubekevallei, omgeving Bosmolens, …) wordt besproken in de plan-MER, conform de scopinganalyse die werd uitgevoerd in paragrafen 3.4.1, 4.4.1 en 5.4.1 van bijlage 2 bij de scopingnota. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op de waardevolle dreven.

De impact van het planvoornemen op (waardevolle) KLE's wordt besproken in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van waardevolle KLE's kan er één van zijn.

Vraag omtrent de tegenstelling tussen de Moubekevallei met een specifiek open landschapspatroon, waarbij bossen en reliëf geen rechte lijnen vormen, en de visie voor de hoogspanningslijn die een rechte lijn hierin moet volgen met zijn eigen wetmatigheden. Volgens deze visie worden schuine overspanningen afgeraden, maar dit zal moeilijk worden in de beekvalleien naar buffering toe.

De impact van het planvoornemen op de landschapsstructuur wordt besproken in de plan-MER. Indien nuttig of nodig worden aanbevelingen gemaakt of milderende maatregelen opgelegd om bepaalde effecten te beperken of te milderen.

Vraag omtrent aanduidingen en bepalingen opgenomen in een gemeentelijk of provinciaal ruimtelijk structuurplan (GRS of PRS). Bijvoorbeeld het GRS van Zedelgem waar de Moubekevallei is aangeduid als landschappelijke hoofdas D, lokaal aangeduide gave landschappen, bovenlokaal aangeduid als

gaaf landschap en kasteeldomein. In het Provinciaal Ruimtelijk Structuurplan West-Vlaanderen is de Moubeekvallei (met hierin het Hospitaalbos) geselecteerd als rivier- en beekvallei en natuurkerngebied. Wat kunnen deze aanduidingen en bepalingen betekenen voor voorliggend planvoornemen?

De effecten op het landschappelijk erfgoed, op de beschermde elementen, het landschapsbeeld, de landschapsstructuur, de ruimtelijke structuur en de wisselwerking met de ruimtelijke context worden besproken in de plan-MER. De mogelijke effecten op fauna en flora worden besproken in de plan-MER. Aanduidingen en bepalingen in gemeentelijke of provinciale structuurplan geven een indicatie waar bijvoorbeeld waardevolle landschappen aanwezig zijn of ontwikkeld zullen worden.

Het gewestelijk RUP wordt in eerste instantie getoetst aan het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen, niet aan lokale structuurplannen. Een hoger plan kan afwijken van een lager (lokaal) plan of visie, steeds rekening houdend met de materiële motiveringsplicht en het zorgvuldigheidsbeginsel en met artikel 1.1.4 van de VCRO.

Er wordt opgemerkt dat de verwijzing naar de opmaak van een archeologienota in deze planfase niet relevant is. Idem voor de verwijzing naar de vondstmeldingsplicht (dit kan beschouwd worden als een maatregel die het resultaat is van een impactanalyse).

Op planniveau zal het risico op het vergraven van archeologische relicten beschreven worden voor de verschillende alternatieven en varianten, conform de scopinganalyse. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden. Voor de volledigheid wordt meegegeven dat er ook op projectniveau maatregelen beschikbaar zijn om het risico op vergraven van archeologische relicten te beperken.

Vraag om de impact naar archeologie bij bovengrondse verbindingen (vergraving i.f.v. aanleg werkzones en aanvoerroutes) toch mee te onderzoeken in de plan-MER.

Het GRUP zal een tracé voor de bovengrondse verbindingen afbakenen zonder dat hierbij mastlocaties vastgelegd worden. Locaties van masten en de bijbehorende werkzones etc. zijn projectkenmerken die op vergunningsniveau bepaald en onderzocht zullen worden.

Op planniveau is het relevante onderzoek voor de bovengrondse verbindingen beperkt tot een controle of er gekende/beschermde archeologische sites gelegen zijn binnen de zoekzones en zo ja, of deze door hun beperkte afmetingen vermeden zullen kunnen worden door een mastinplanting. Deze toetsing is uitgevoerd in paragraaf 4.4.1 van bijlage 2 bij de scopingnota. De overige aandachtszones voor archeologie worden eveneens beschreven onder §4.4.1.

De scope van een ruimtelijk uitvoeringsplan dient voldoende breed te zijn i.f.v. de gepaste landschappelijke inkleding, visuele aspecten kunnen in 4 categorieën geplaatst worden: dominant (tot 350m), subdominant (350-700m), marginaal (700-1400m) en insignificant (vanaf 1400m).

Per discipline wordt een studiegebied bepaald, dit is de zone tot waar effecten zich mogelijks kunnen voordoen en per definitie ook waarneembaar zijn. Voor de effecten op het landschapsbeeld en visuele hinder wordt rekening gehouden met de vermelde afstanden.

6. Discipline mens-ruimtelijke aspecten

Vraag naar de impact op de fiets- en wandelroutes (bijv. Kastelenroute, Boschvogelroute, Moubeke fietsroute, Klytpad, fietsknooppuntennetwerk). Vraag naar de impact op de ruiterroutes. Vraag naar de impact op de trage wegen.

Er wordt in de exploitatiefase geen directe impact op deze (recreatieve) routes verwacht. De mogelijke tijdelijke impact tijdens de aanlegfase zal geëvalueerd worden i.k.v. de omgevingsvergunningsaanvraag (inclusief project-MER). Aspecten inzake ruimtebeleving en visuele hinder worden wel algemeen beschreven in het plan-MER. Indien noodzakelijk, zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op het (plattelands)toerisme (bijv. provinciaal domein Wallemote-Wolvenhof, infopunt Kronemolen, infopunt Stoeterij Groenhove, organisatie van plattelandsklassen, …).

Na uitvoering van het planvoornemen kunnen deze functies algemeen behouden worden. Ruimtelijke beperkingen (met name eventuele bouwbeperkingen) worden algemeen beschreven in de plan-MER, alsook de eventuele gezondheidsaspecten. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op de duivensport.

De mogelijke impact van het planvoornemen op de duivensport worden besproken in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op de open ruimte. Vanuit diverse reacties worden elementen aangebracht over de kwaliteiten van de huidige open ruimte en verwijzingen hiernaar in structuurplannen, ruimtelijk uitvoeringsplannen en andere.

De mogelijke effecten van het planvoornemen op de open ruimte (beleving, ontwikkeling, …) worden besproken in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op aanwezigheid van specifieke functies (bijv. een hondenclub/pension, de campus POV (provinciaal opleidingscentrum veiligheidsdiensten), een modelvliegclub, helihaven (t.h.v. campus AZ Delta Roeselare, …).

Na uitvoering van het planvoornemen kunnen alle functies algemeen behouden worden. Ruimtelijke beperkingen (met name eventuele bouwbeperkingen) worden algemeen beschreven in de plan-MER onder de effectgroep ‘ruimtegebruik en gebruikskwaliteit’, alsook de eventuele gezondheidsaspecten (zie discipline mens-gezondheid). Eventuele beperkingen voor luchtvaart worden bijkomend besproken in het plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag naar de impact op toekomstige ontwikkelingen. Zijn er beperkingen voor de bouw van nieuwe windmolens?

Voor de hoogspanningsinfrastructuur zijn de regels van het KBEI van toepassing. Deze regels beschrijven welke vrije hoogte er moet blijven tussen de luchtgeleiders en een weg, een lantaarnpaal, een dak, … Op basis van de plannen van de aanvraag kan het Contact Center van Elia een gemotiveerd positief of negatief advies verlenen.

Voor windturbines zijn er meer factoren die spelen dan enkel de elektrische veiligheidsafstanden. De turbulentiekegel achter een windturbine kan immers ongewenste trillingen veroorzaken in de geleiders van een luchtlijn. Omwille van deze reden wordt er ook rekening gehouden met de tiphoogte en de rotordiameter van windturbines, en zal er vaak een veiligheidscorridor rond luchtlijnen gedefinieerd worden waarbinnen er een negatief advies voor vergunningsaanvragen van windturbines zal gelden. Zie paragraaf 4.12 in bijlage 2 van de scopingnota.

De impact op huidige en mogelijk of gekende toekomstige windturbines zal verder besproken worden in de plan-MER. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Is er na de uitvoering van dit plan/project kans op visuele hinder, verstoring landelijke omgeving, verstoring van uitzicht of horizonvervuiling?

De mogelijke impact op het landschapsbeeld en de visuele verstoring van het planvoornemen zullen besproken worden in de plan-MER. Indien noodzakelijk, zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

Vraag om de ruimtelijke impact voldoende ruim te onderzoeken, zodat de nodige maatregelen kunnen getroffen worden (onder meer i.f.v. afdoende visuele buffering).

De mogelijke impact op het landschapsbeeld, de visuele verstoring, het ruimtegebruik, de ruimtelijke structuur en de wisselwerking met de ruimtelijke context van het planvoornemen zullen besproken worden in de plan-MER. Het studiegebied houdt rekening met de zone waarin zich relevante effecten kunnen voordoen. Indien noodzakelijk zullen er milderende maatregelen voorgesteld worden.

7. Discipline mens-gezondheid

Wat is de impact op het voorkomen van ziektebeelden door EMV en/of geluid (o.a. ELF)? Hierbij wordt onder meer gedacht aan stress, slaapstoornissen, chronische vermoeidheid (CVS), kinderleukemie, alzheimer/dementie (bron: onderzoek Hüss), hoofdpijn/migraine, oorsuizingen, hersentumor/glioom (bron: onderzoek Hardell), hartproblemen, haar- en huidaandoeningen, ademhalingsproblemen/astma, onvruchtbaarheid bij vrouwen (studies VS), lymfo- en myeloproliferatieve aandoening, kanker, ALS, VAD (vibro acoustic disease), allergische reacties en versnelde mycotoxinevorming in veel hogere concentraties.

Geluidshinder in de buurt van hoogspanningslijnen doet zich voornamelijk voor bij vochtig, regenachtig, mistig weer en is onder meer te wijten aan het corona-effect (verwant aan Sint-Elmusvuur) en/of deelontladingen (plaatselijke doorslag van de lucht) en lekstromen. Er zijn geen aanduidingen dat hoogspanningslijnen geluid produceren op een niveau dat gezondheidsschade zou kunnen veroorzaken.

De experten kennen geen gefundeerd wetenschappelijk onderzoek over de relatie van geluidshinder door hoogspanning en gezondheid.

Wat is de invloed op medische apparatuur zoals bijv. een pacemaker, defibrillator, gehoorimplantaat, insulinepomp, kunstgewricht en neurostimulator?

Producenten van medische hulpmiddelen zijn wettelijk verplicht om ervoor te zorgen dat hun producten redelijkerwijze bestand zijn tegen interferentie en dat zij stelselmatig worden getest voor veldsterktes die in de openbare omgeving kunnen optreden. Het is dus erg onwaarschijnlijk dat deze toestellen kunnen verstoord worden.

Vraag om de reikwijdte van het (gezondheids)onderzoek uit te breiden: invloed ten gevolge van een vermogen van 6 GW, invloed van het project op lange termijn, 0,1 µT EM-contour berekenen, 0,4 µT EM-contour bij een maximale belasting (100%) of bij meerdere belastingen (40%, 50%, 75% en 100%) naast de reeds voorziene 20%, onderscheid effecten tussen wisselstroom en gelijkstroom.

Het plan-MER wordt opgemaakt voor een worst-case scenario in functie van de mogelijke effecten. Hiervoor wordt verwezen naar de methodologie voor de opmaak van het MER. De technische gegevens over de magneetvelden zijn aan bod gekomen bij de dubbelcheck technologie, maar verder niet relevant voor dit GRUP.

Vraag naar de impact van de toename van geïoniseerd fijn stof nabij de hoogspanningslijn.

Literatuuronderzoek van RIVM (2007 en in 2012) bevatten een overzicht van het wetenschappelijk onderzoek op dat gebied. Op basis van die onderzoeken, is dat het niet aannemelijk is dat bovengrondse hoogspanningslijnen de schadelijke gezondheidseffecten van fijn stof beïnvloeden.

Vraag om rekening te houden met de aanwezigheid van kwetsbare locaties, zoals kinderopvang, ziekenhuis, scholen, …

In de mededeling aan de leden van de Vlaamse regering voor de projecten Brabo en Stevin van juni 2012 wordt aangegeven dat er bij de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen een goede afweging moet gemaakt worden tussen effecten op mens en milieu, visuele hinder, geluidshinder, technische mogelijkheden en financiële gevolgen van de keuze voor een bepaald traject. De mededeling bevat een aantal aanbevelingen die ook voor andere projecten nuttig zijn, gebaseerd op voorzorg en rekening houdend met de andere aspecten:

- Het overspannen van woningen, scholen en kinderdagverblijven bij nieuwe hoogspanningslijnen tot een minimum te beperken
- Geen nieuwe scholen en kinderdagverblijven in de magneetveldcontour van bestaande hoogspanningslijnen te plaatsen.

Uitgangspunt is zo veel mogelijk vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waar er langdurige blootstelling is aan meer dan 0,4 µT. In de praktijk wil dit zeggen dat er bij de vergelijking van mogelijke trajecten rekening wordt gehouden met nieuwe overspanningen van woningen, scholen, kinderopvangvoorzieningen, onbebouwde woonpercelen. Het volledig vermijden van het

overspannen van gebouwen is in een Vlaamse context onmogelijk gezien de verspreide dichte bebouwing.

Op die manier wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van kwetsbare locaties.

De meeste experten van de klankbordgroep gezondheid geven aan dat er voorzorg nodig is en dat de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) daar een kader voor geeft. De manier waarop voorzorg wordt toegepast, bestaat dan uit de afweging van verschillende trajecten en opties en dat is onderdeel van de procedure die loopt voor het GRUP Ventilus. Of voorzorg nodig is, is volgens sommige experten, een politiek/maatschappelijke afweging die niet enkel afhangt van het oordeel van wetenschappelijke experten. De proportionaliteit van de maatregelen moet vervolgens bepaald worden bij de keuze van de trajecten. Voor volwassenen zijn er geen gezondheidseffecten aangetoond in wetenschappelijk onderbouwd onderzoek, waardoor er geen voorzorg hoeft te worden toegepast.

Vraag naar de impact van het geluid: geknetter (deelontladingen), gezoem (lekstroom), sissen/suizen (hoge luchtvochtigheid, corona),… Vraag of deze geluidshinder permanent kan zijn? Vraag naar wijziging in geluidshinder door diverse weersomstandigheden. Vraag naar impact van geluid naar fysieke en psychische klachten (al dan niet leeftijdsgebonden).

Geluidshinder in de buurt van hoogspanningslijnen doet zich voornamelijk voor bij vochtig, regenachtig, mistig weer en is onder meer te wijten aan het corona-effect (verwant aan Sint-Elmusvuur) en/of deelontladingen (plaatselijke doorslag van de lucht) en lekstromen. Er zijn geen aanduidingen dat hoogspanningslijnen geluid produceren op een niveau dat gezondheidsschade zou kunnen veroorzaken.

De experten kennen geen gefundeerd wetenschappelijk onderzoek over de relatie van geluidshinder door hoogspanning en gezondheid.

Vraag naar de impact op het gebruik van de eigen tuin (werken in moestuin, kinderen laten spelen).

De impact van de hoogspanningslijn op de omgeving wordt onderzocht in de plan-MER.

Een moestuin bewerken nabij een hoogspanningslijn is mogelijk. Hoogspanningslijnen vormen in principe ook geen beletsel voor spelende kinderen, maar sommige zaken die te maken hebben met de veiligheidsafstanden die wettelijk bepaald zijn, zullen bepaalde beperkingen geven (bv. verbod om te klimmen in hoogspanningsmasten, windvliegers nabij de geleiders …). Deze zaken zullen vooral op projectniveau aan bod komen.

Vraag om rekening te houden met info uit studies van de universiteit van Bern, het meldpunt gezondheid en milieu Nederland, het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek, …

De klankbordgroep gezondheid, die het GRUP begeleidt voor de aspecten met gezondheid bekijken maximaal alle relevantie studies. In bijlage 5 bij de scopingnota is meer informatie terug te vinden over gezondheid en de resultaten van de klankbordgroep gezondheid.

Vraag naar de impact op de leefbaarheid en algemeen welzijn (psychosomatische aspecten). Vraag naar impact op fysiek en mentaal welzijn van omwonenden door de aanwezigheid van een hoogspanningslijn (o.a. vervorming uitzicht en omgeving).

De psychosomatische effecten zullen ook ernstig worden meegenomen in de plan-MER.

Het mentale welzijn van de omgeving als gevolg van de wijzigend uitzicht en omgeving, maakt deel uit van de impact van de hoogspanningslijn op het landschap.

8. Discipline mens-mobiliteit

Vraag naar de impact op de zeescheepvaart bij het kruisen van het Boudewijnkanaal door de nieuwe luchtlijn.

Momenteel zijn er geen aanwijzingen die er toe leiden dat voorliggend plan een impact kan hebben op de zeescheepvaart bij het kruisen van het Boudewijnkanaal. Het KBEI legt afstandsregels op die gerespecteerd zullen worden.

Vraag naar de impact op verkeer en hinder tijdens de aanleg van een ondergrondse verbinding? Vraag om rekening te houden met mogelijke variaties van tijdsduur van mogelijke effecten (hoe complexer de ondergrondse omgeving, hoe langer de werken duren).

De mogelijke tijdelijke impact op verkeer en hinder wordt bepaald op basis van de projectkenmerken en wordt geëvalueerd bij de omgevingsvergunningsaanvraag (inclusief project-MER). Eventuele permanente effecten die het gevolg kunnen zijn van de aanlegfase zullen wel in het plan-MER worden bestudeerd.

De lokale wegen zijn niet voorzien voor het transport dat nodig is om de hoogspanningslijnen te plaatsen en te onderhouden.

De mogelijke tijdelijke impact op lokale wegen wordt bepaald op basis van de projectkenmerken en wordt geëvalueerd bij de omgevingsvergunningsaanvraag (inclusief project-MER). In bijlage 4.1 het hoogspanningsnet in België van de scopingnota, wordt ter informatie een korte beschrijving van de aanleg van een hoogspanningslijn opgenomen.

Landbouw

Over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op landbouwactiviteiten werden veel vragen verzameld. Deze vragen hebben zowel betrekking op ondergrondse als bovengrondse verbindingen en gaan zowel over mogelijke effecten op het uitvoeren van landbouwactiviteiten, impact op welzijn en productiviteit van landbouwdieren, impact op groei en opbrengst van landbouwgewassen als impact op gebouwen en mogelijkheden naar toekomstige ontwikkelingen.

Studie ILVO

Een groot deel van de vragen werd voor het eerst vanuit de landbouwsector gesteld. De landbouwfederaties hebben daarom gevraagd om bijkomend wetenschappelijk literatuuronderzoek te laten uitvoeren door het ILVO, het instituut voor landbouw-, visserij- en voedingsonderzoek. Na een gezamenlijk overleg tussen de Boerenbond, het Algemeen Boerensyndicaat, het Departement Landbouw en Visserij, het Departement Omgeving, Elia en het ILVO werd beslist om een studie op te starten met een tweevoudige doelstelling:

- Enerzijds tot een overzicht komen van bestaande wetenschappelijke kennis rond de impact van hoogspanning (zowel boven- als ondergronds) op diverse aspecten van landbouw. Op die manier kan objectieve wetenschappelijke kennis aangeleverd worden over bezorgdheden die leven bij landbouwers. Deze wetenschappelijke kennis kan ook gebruikt worden in het onderzoek van het plan-MER en de MKBA.

- Anderzijds in dialoog met landbouwers gaan die reeds onder of nabij hoogspanningsinfrastructuur wonen en werken. Via diepte-interviews worden hun ervaringen, eventuele problemen of aandachtspunten in kaart gebracht. Op die manier wordt geprobeerd om een exhaustiever beeld te krijgen op de relatie tussen de hoogspanningsverbindingen en het landbouwbedrijf.

Een stuurgroep werd opgericht om deze studie op te volgen. Hierin waren het Departement Omgeving, het Departement Landbouw & Visserij, Boerenbond, het Algemeen Boerensyndicaat en Elia vertegenwoordigd.

Volgende vragen werden ter studie voorgelegd aan het ILVO:

Impact op landbouwapparatuur

Is er een mogelijke impact op landbouwapparatuur?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *elektronica in hightech landbouwmachines (tractoren, robotmaaiers, magneetkoppelingen in maaibalken, zelfrijdende computergestuurde oogstmachines).*
- *geolocatie-technologieën: GSSN gestuurde apparaten (besturingen en opvolging via GPS systemen of GSM verbindingen).*
- *veldsensoren die langdurig op één bepaalde plaats staan om hun gegevens te delen met een centrale sturing.*

- *elektronica in serres en stallen: voorschakelapparaten, stuurelektronica van assimilatieverlichting, autonoom werkende dekwasser, klimaatcomputer, sensoren, drones om het dekglas te besproeien, verluchtingssturing,…*
- *sturing (automatisch of door een piloot) van drones boven akkers*
- *apparatuur van dierenartsen*
- *zonnepanelen of installaties die op zonnepanelen worden aangedreven (bv pompen). Extra slijtage van bv. omvormers.*

Impact op landbouwdieren

Is er een mogelijke impact op landbouwdieren (rundvee, kippen, schapen, paarden, varkens, honingbijen) of huis-/hobbydieren (hond, kat, duiven)? Is dit afhankelijk van de omgeving waarin de dieren aanwezig zijn (stal vs open veld)?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *welzijn en gedrag (gedragswijzingen, verhoogde agressie, kannibalisme, vermijdingsgedrag)*
- *productiviteit (melkgift, kiemgetal/celgetal van melk, honingproductie),*
- *vruchtbaarheid (wijziging productiegetal zeugen, koeien, paarden),*
- *groei (pluimvee),*
- *ziektegevoeligheid (haaruitval bij koeien),*
- *ziekteverspreiding (vogelpest door draadslachtoffers, verhoogd aantal teken door natuur onder mastvoeten),*
- *kans op abortus, vroeggeboortes en misvormingen*
- *verhoging van kosten door bovenstaande (behandeling, dierenarts, medicatie, …)*

Impact op bewerking van akkers

Is er een mogelijke impact op de bewerking van akkers?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *bewerkingsmoeilijkheden door masten en mofputten met tijdverlies, verdichting, vernatting en ongewenste onkruidgroei als gevolg.*
- *versnippering van percelen.*
- *gebruiksbeperkingen door de hoogspanningsleidingen, ondergrondse kabels, masten, mofputten.*
- *nadelen voor het gebruik van sproeimachines (fyto, bladbemesting) door verstoring in de indeling van het perceel.*
- *kunnen drones in de nabijheid van de masten ingezet worden? Zijn er beperkingen of meerkosten?*

Impact op landbouwgewassen

Is er een mogelijke impact op de groei en kwaliteit van gewassen (graan, mais, groenten, fruit, …)?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *opbrengstdaling door EMF*
- *opbrengstdaling door beschaduwing door masten, geleiders, landschapsintegratie.*
- *opbrengstdaling door een verminderde bestuiving doordat bestuivende insecten afnemen. (Bijen en hommels zouden agressiever zijn, gestresseerd zijn, hoogspanningslijnen vermijden, sterven, hun kasten verlaten, gedesoriënteerd worden, minder goed bestuiven, de winter slechter overleven, bloemen niet meer vinden.)*
- *opbrengstdaling door aanwezigheid van meer wild door aanwezigheid mastvoeten en landschapsintegratie.*
- *fysieke schade door drup van water van geleiders en door ijspegels.*
- *verhoogde sterfte van planten en bomen*
- *verhoogde ziektefrequentie door groei schimmels/bacteriën op geleiders en planten*
- *verhoogde ziektefrequentie door aanwezigheid mastvoeten en landschapsintegratie.*
- *invloed op bodemleven.*
- *invloed op biologische bestrijding met plaaginsecten e.a. (sluipwespen, roofwantsen, lieveheersbeestje, roofmijten, specifieke soorten als Macrolophus caliginosus, Nesiodocorus, Encarsia formosa, Eretmocerus, Phytoseiulus persimilis, Ephestia)*
- *contaminatie door draadslachtoffers*
- *contaminatie door verf*
- *contaminatie door metalen van de masten en geleiders*
- *contaminatie door een verhoogd aantal onkruiden door aanwezigheid mastvoeten en landschapsintegratie.*
- *verlaagde kwaliteit door toename aan nodige bestrijdingsmiddelen voor behoud kwaliteitsgewassen.*
- *opwarming van de bodem bij ondergrondse kabels met vertraagde/versnelde groei en verhoogde kans op uitdroging*
- *gewijzigde waterhuishouding door landschapsintegratie.*

Impact op voedselveiligheid

Is er een mogelijke impact op de voedselveiligheid van mens/dier?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *een verhoogde kans op botulisme door draadslachtoffers die in watervoorraden vallen of op gebouwen terechtkomen die afwateren naar watervoorraden.*
- *het risico dat oogsten van gewassen onverkoopbaar worden door draadslachtoffers (ook kans op botulisme bij verwerking), toename van gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen en hogere eisen tav veilingen/FAVV.*
- *het risico dat landbouwdieren niet voldoen aan de vereisten door een toename van medicatie bij dieren.*

Impact op veiligheid

Is er een mogelijke impact op de veiligheid van landbouwers?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *watergebruik bij gebouwen: bij het reinigen van stallen, reinigen van glasconstructies, gebruik van daksproeiers op om te koelen.*
- *watergebruik op akkers: de meest voorkomende techniek is een de beregeningshaspel met kanon waarbij water tientallen meter de lucht in gespoten wordt. Blijft deze techniek mogelijk onder en nabij een hoogspanningslijn of zullen enkel beregeningsbomen gebruikt kunnen worden? Zijn er algemene beperkingen bij beregening van gewassen nabij een hoogspanningslijn of boven ondergrondse hoogspanningsverbindingen?*
- *Brandveiligheid: zijn er beperkingen voor blusactiviteiten.*
- *Activiteiten op akkers: gebruik vliesdoek, acryldoek (zeer licht en dus windgevoelig), wildbeschermingsnet, hagelnet, schaduwdoek/overkappingen (opwaaien).*
- *Gebruik van machines en materialen: bv kranen, laders, karren.*
- *Nood aan bijkomende aardingen van materialen en constructies zowel voor vaste installaties als mobiele constructies (bv koepelserres) en machines, drinkbakken.*
- *Glasbreuk serres: zowel qua arbeidsveiligheid als voedselveiligheid.*

Impact op gebouwen

Is er een mogelijke impact op gebouwen onder hoogspanningslijnen?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *Veehouderij: luchtwassers zorgen voor een specifieke luchtsamenstelling (waterdampgordijn) in de omgeving. Kan dit interfereren met de geladenheid van lucht nabij hoogspanning?*
- *Metalen in stallen en serres (vast of in koepelvorm): Stalinrichtingen en buisverbindingen bestaan vaak uit inox. Is er een invloed op metaalmoeheid, extra slijtage of andere gevolgen? Verhoogde corrosie van gasleidingen in koelingsinstallaties met meer lekverliezen als gevolg?*
- *Glasbreuk bij serres door ijspegels of draadslachtoffers: productieverlies, glasvervuiling in het water van hydrocultuur, verlies van warmte, schouweffect (hogere energiekost en ongelijke temperatuur), schade aan schermdoek, schade aan bekabeling, arbeidsveiligheid, duurdere verzekeringen voor brandrisico, voedselveiligheid, gewasverzekering, nood aan compartimenteren, nood aan plaatsen van gehard glas.*
- *Beperkingen op bouwactiviteiten bij wijzigingen en uitbreidingen: hoogte van nieuwe gebouwen naast/ter vervanging van huidige gebouwen, beperking op gebruik van hoge kranen bij opbouw, toevoegen van installaties ifv BBT (bv luchtzuivering op dak).*
- *Beperkingen op nieuwbouw op akkers en graslanden.*
- *Is er ook een vergoedingsregeling voor nadelen aan bedrijven? Is er een verkoopmogelijkheid voor landbouwbedrijven?*

Impact door de aanlegwerken en bij onderhoud

Is er een mogelijke impact tijdens de aanleg en tijdens het onderhoud?

Mogelijke impacten kunnen zich afspelen op vlak van:

- *Structuurschade aan de bodem. Hoe wordt er te werk gegaan om dit te vermijden? Hoe lang duurt het herstel?*

- *Wijziging (grond)waterhuishouding en drainages (door funderingen en ondergrondse verbindingen). Welke maatregelen worden genomen om schade te vermijden en te herstellen?*
- *Onbeschikbaarheid van terreinen tijdens de werf: hoe lang duren de werken? Hoeveel ruimte wordt ingenomen (zowel voor een hoogspanningslijn als een ondergrondse verbinding?*
- *Bij afbraak van 150kV en heropbouw: welke maatregelen worden genomen om afval (ijzer) op akkers en weilanden te vermijden.*
- *Onderhoud van hoogspanningsinstallaties: wat is nood en de frequentie van het onderhoud en welke schade mag hierbij verwacht worden?*
- *Impact op graslanden met het EKBG-statuut (ecologisch kwetsbaar blijvend grasland) en historisch permanent grasland.*

Studie ULg

Parallel aan de studie van het ILVO is een deels gelijkaardige studie uitgevoerd door de Université de Liège (ULg). Dit onderzoek werd door de Fédération Wallonne des Agriculteurs en Elia opgestart om een antwoord te kunnen geven op de vragen van Waalse landbouwers die betrokken zouden kunnen zijn bij het project Boucle du Hainaut in de provincie Henegouwen. De ULg-studie had als doel via literatuurstudie een overzicht te maken van bestaande wetenschappelijke kennis rond de impact van elektromagnetische velden van een bovengrondse 380kV-hoogspanninglijn op diverse aspecten van landbouw. De onderzoeksvraag focust zich op elektromagnetische velden; aspecten zoals impact tijdens de aanlegfase werden niet bestudeerd.

Deze studies (inclusief aanbevelingen) zijn afgerond en zijn terug te vinden in bijlage 7 bij de scopingnota. De resultaten hiervan zullen o.a. verwerkt worden in het plan-MER, het landbouwprotocol, de MKBA,

Voor de bij de netbeheerder reeds gekende mogelijke effecten worden maatregelen getroffen door de netbeheerder. Deze maatregelen zijn opgenomen in bijlage 8 van de scopingnota; voornamelijk in de delen grondwater en bodem, oppervlaktewater, landbouw.

Wat is de impact op het landbouwgebied en het agrarisch functioneren? Welke zijn de gevolgen zowel door een bovengrondse als een ondergrondse leiding, versnippering/gebruiksbeperking door o.a. aanwezigheid masten of mofputten?

Dit zal behandeld worden in het plan-MER.

De uitvoering van het plan/project zal een permanent en tijdelijk ruimtebeslag in het agrarisch gebied met zich meebrengen omwille van de mogelijke ruimtelijke uitbreidingen van de verschillende hoogspanningsstations, te plaatsen masten, werkzones, bufferzones,…. Er wordt aandacht gevraagd voor een zo zuinig mogelijk ruimtegebruik en het vermijden van restruimtes. Bijvoorbeeld: waar mogelijk infrastructuren (masten, controleputten, tussenliggende stations, …) zo

veel mogelijk langsheen perceelsgrenzen of bij rooilijn plaatsen, niet dwars door of in het midden van een perceel, noodzakelijk om in overleg te gaan met lokale landbouwer.

Zuinig ruimtegebruik en het vermijden van restruimtes zijn ruimtelijke principes die toegepast worden in het GRUP. De locatie van de masten bij bovengrondse hoogspanningslijnen en van mofputten bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen kan pas op uitvoeringsniveau bepaald worden. Waar mogelijk, zal de tracering van ondergrondse verbindingen hier reeds rekening mee houden.

Wat is de impact op historisch permanente graslanden?
De mogelijke impact van het planvoornemen op historisch permanente graslanden zal onderzocht worden in de plan-MER. Hierbij zal, indien noodzakelijk, milderende maatregelen voorgesteld worden. Het (zo veel mogelijk) vermijden van historisch permanente graslanden kan er één van zijn.

Naast de impact op de bedrijfsvoering van landbouwbedrijven, kan er ook een impact op hun woonfunctie (relatie met andere disciplines) zijn.

De aanwezigheid van landbouwbedrijfswoningen wordt, samen met andere woningen, mee in rekening gebracht in het plan-MER.

Vraag tot opmaak van een landbouweffectenrapport (LER).

Indien het planproces resulteert in de inname van agrarisch gebied door middel van herbestemming zal het departement Landbouw en Visserij geconsulteerd worden of een LER opgemaakt dient te worden.

Vraag tot compensatie bij inname van Herbevestigd Agrarisch Gebied (HAG).
Met de vraag naar compensatie bij inname van HAG wordt verwezen naar omzendbrief RO/2010/01 van 7 mei 2010 betreffende het ruimtelijk beleid binnen de agrarische gebieden waarvoor de plannen van aanleg en ruimtelijke uitvoeringsplannen herbevestigd zijn. In deze omzendbrief wordt benadrukt dat de bindende bepalingen van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (RSV) voorzien dat het Vlaams gewest 750.000 ha agrarisch gebied afbakent in gewestplannen of gewestelijke ruimtelijke uitvoeringsplannen als onderdeel van de afbakening van de gebieden van de natuurlijke en agrarische structuur.

In uitvoering van het RSV stelde de Vlaamse overheid tussen 2004 en 2009 een gebiedsgerichte ruimtelijke visie op landbouw, natuur en bos op in overleg met de lokale besturen en middenveldorganisaties voor dertien buitengebiedregio's. Op basis van deze ruimtelijke visies herbevestigde de Vlaamse Regering de bestaande plannen van aanleg en ruimtelijke uitvoeringsplannen voor ca. 538.000 ha agrarisch gebied. De regering besliste dat voor deze gebieden geen bestemmingswijzigingen nodig zijn en dat de agrarische bestemmingen op de plannen van aanleg en de ruimtelijke uitvoeringsplannen behouden blijft, tenzij expliciet anders vermeld. Binnen deze herbevestigde agrarische gebieden heeft de landbouwsector dus de zekerheid dat de agrarische bestemming op lange termijn principieel behouden blijft.

De overige gebieden van de agrarische structuur zullen samen met de resterende taakstelling inzake bijkomende natuur- en bosgebieden vastgelegd worden in gewestelijke ruimtelijke uitvoeringsplannen

op basis van de prioriteiten en fasering bepaald in de operationele uitvoeringsprogramma's die voor iedere buitengebiedregio goedgekeurd zijn.

Via de beleidsbeslissingen over de herbevestigde agrarische gebieden geeft de Vlaamse Regering het ruimtelijk beleid aan dat ze in deze gebieden wenst te voeren, zijnde het behoud van de agrarische functie zoals ze vastgelegd is in de plannen van aanleg en de ruimtelijke uitvoeringsplannen. In deze omzendbrief geeft de Vlaamse Regering haar beleidsvisie weer over de gemeentelijke, provinciale en gewestelijke planningsinitiatieven die in de herbevestigde agrarische gebieden mogelijk zijn. De omzendbrief vormt echter als zodanig geen rechtsgrond om af te wijken van decretale bepalingen met betrekking tot de opmaak van ruimtelijke uitvoeringsplannen en de bevoegdheid die aan de onderscheiden overheden daaromtrent zijn toegekend.

De Vlaamse Regering stelt dat binnen deze gebieden - gezien de herbevestiging van de agrarische gebieden deel uit maakt van de uitvoering van de bindende bepalingen van het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen - gemeentelijke en provinciale planningsinitiatieven geen betekenisvolle afbreuk mogen doen aan de ruimtelijk-functionele samenhang van de agrarische macrostructuur.

De Vlaamse Regering zorgt er voor dat de goedkeurende en adviserende instanties binnen de Vlaamse overheid deze beleidsvisie laten doorwerken in hun argumentatie bij de beoordeling van planningsinitiatieven (opmaak ruimtelijke uitvoeringsplannen, opmaak en herziening van ruimtelijke structuurplannen) die deze agrarische bestemming zouden wijzigen.

Het voorgenomen RUP betreft echter een gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan. De omzendbrief is in hoofdzaak een beleidsmatig verhaal en heeft geen verordend karakter. Zo oordeelde de Raad van State reeds dat "de ministeriële omzendbrief RO/2010/01 van 7 mei 2010 (…) als zodanig geen verordenend karakter bezit en (…) een gebeurlijke miskenning niet tot de vernietiging van de bestreden besluiten kan leiden" (RvS 24 november 2017, nr. 239.960, Bontinck. Vaste rechtspraak: RvS 20 juni 2017, nr. 238.586, Dierckx; RvS 5 februari 2013, nr. 222.380, bvba Schrijnwerkerij Van Rossem; RvS 12 oktober 2012, nr. 220.990, Janssens; RvS 30 juni 2011, nr. 214.328, gemeente Hamme).

De omzendbrief is gericht aan gemeenten en provincies en geeft aan hoe de Vlaamse overheid wil dat er beleid gevoerd wordt in deze herbevestigde agrarische gebieden en hoe zij zullen adviseren/goedkeuren.

Voor Vlaamse plannen geldt de beslissingen van juni 2005, niet de omzendbrief. Dit is een beleidsbeslissing Vlaamse Regering. De VR beslist dus ook zelf hoe zij met de beslissingen van 2005 willen blijven omgaan bij nieuwe beslissingen over RUP's.

In de nota Vlaamse Regering over de oorspronkelijke omzendbrief voor de herbevestigde agrarische gebieden van 2005 (die herzien werd in 2010) staat de manier waarop met deze omzendbrief moet worden omgegaan voor gewestelijke processen verwoord. De actualisatie van de omzendbrief in 2010 doet daar geen afbreuk aan.

Indien in een herbevestigde agrarische bestemming toch een gewestelijk RUP gronden met een agrarische bestemming zou omzetten naar een niet-agrarische bestemming, dan dient hiervoor elders een compensatie te gebeuren indien de afbakening van 750.000 ha agrarische bestemming op Vlaams niveau in het gedrang komt (niet-agrarische bestemming omzetten naar agrarische bestemming) en geldt minstens een algemene compensatieregel: de compensatie neemt de herbevestiging van een agrarische bestemming in een niet-bevestigd gebied aan of kan ook een gewestelijke RUP inhouden voor percelen of gebieden met huidige agrarisch gebruik behorende tot de betreffende regio. In dit laatste geval wordt rekening gehouden met de ruimteboekhouding en de gelijktijdige afbakening van

de agrarische en natuurlijke structuur. De compensatie voor het wijzigen naar harde bestemmingen gebeurt bij voorkeur in de harde bestemmingszones van de bestaande plannen van aanleg of ruimtelijke uitvoeringsplannen binnen de betreffende regio en bij voorkeur op gronden in agrarisch gebruik waardoor een 'compensatie' niet aan de orde is.

Omtrent gewestelijke initiatieven valt in de omzendbrief dan ook het volgende te lezen:

> "***Gewestelijke initiatieven***
> *De Vlaamse Regering legde op 3 juni 2005 het kader vast voor het gewestelijk beleid dat ze ten aanzien van mogelijke gewestelijke planningsinitiatieven in de herbevestigde agrarische gebieden wenst te voeren en besliste over reeks bewarende maatregelen inzake landbouw, natuur en bos binnen deze gebieden. Deze beslissing blijft onverkort van kracht. Gelet op de stand van zaken van de uitvoering van het RSV zal bij een planologische aanpassing van het herbevestigd agrarisch gebied waar mogelijk het planologisch evenwicht hersteld worden en een degelijk onderbouwde motivering en verantwoording gehanteerd worden conform hetgeen beschreven is in punt 4*."

Voor zoveel als nodig kan er nog op worden gewezen dat de afweging die in de omzendbrief staat veel genuanceerder is dan een 'compensatie'-regeling. Hoewel het juist is dat in de omzendbrief wordt gesteld dat als algemeen uitgangspunt geldt dat de overheid die een planningsinitiatief neemt om de bestemming van een herbevestigd agrarisch gebied te wijzigen in de mate van het mogelijke en bij voorkeur binnen hetzelfde planningsinitiatief, de nodige acties opneemt om het planologisch evenwicht te herstellen, er in bepaalde gevallen ook kan worden afgeweken van dit algemeen uitgangspunt. Afwijken van dat algemeen uitgangspunt kan mits uitdrukkelijke en grondige motivatie door de initiatiefnemer, waarbij de volgende elementen aan bod komen: (1) een alternatievenonderzoek, (2) onderzoek naar impact om landbouw en (3) onderzoek naar mogelijke flankerende maatregelen: planologische ruil kan daar deel van uitmaken… .

Voormelde zaken zullen worden onderzocht in het plan-MER, zodat deze elementen sowieso worden meegenomen in de afweging die finaal zal worden gemaakt door de plannende overheid.

Vraag bij de aanleg om rekening te houden met volgende werkwijzen: bij het graven van sleuven de teelaarde afzonderlijk stockeren, bij het dichten van de sleuven de verschillende aardlagen in juiste volgorde terugplaatsen, toegankelijkheid van aanpalende landbouwpercelen zoveel mogelijk verzekeren.

Dit zijn maatregelen die door de netbeheerder standaard toegepast wordt bij kabelwerken op landbouwterreinen (zie bijlage 8 Eliabeleid voor maatschappelijk verantwoorde projectontwikkeling bij de scopingnota). De toegankelijkheid van landbouwpercelen rondom de werfzone wordt gegarandeerd, of in het geval dit niet mogelijk zou zijn vergoed conform het protocolakkoord.

Vraag met betrekking tot de hoogtebeperkingen voor nieuwe constructies zoals vermeld in de startnota (binnen het agrarisch gebied tot 4 m, binnen industriegebied 11 m en binnen woongebied 8 m). Een hoogte van 4 m is voor het oprichten van bepaalde landbouwbedrijfsgebouwen vaak onvoldoende. Vraag om dit gelijk te stellen aan de hoogte binnen industriegebied.

De voorgestelde hoogtebeperkingen uit de startnota gaan uit van een normaal gebruik van de bestemmingen. In de scopingnota is ervoor geopteerd om deze hoogtebeperkingen niet meer op te

nemen, dit juist om flexibel in te kunnen spelen op plaatselijke situaties (bv bedrijfsgebouwen) De manier waarop dit wordt aangepakt, is beschreven in paragraaf 4.1.3 van de scopingnota.

Wat is de impact op de eigen (biologische) teelt van groenten en fruit (moestuin)?
De mogelijke effecten van een privé moestuin zijn dezelfde als voor niet-persoonlijke teelt. Uit de studie van het ILVO (bijlage 7.1) blijkt dat hierover geen negatieve effecten gekend zijn op dit moment.

Vraag om indien maatregelen moeten genomen worden, waarbij bijkomende ruimte (natuurcompensatie) nodig is, er rekening gehouden wordt met het landbouwbelang van de zones waar men wenst te compenseren. Vraag om voorkeur te laten gaan naar zones waar zo weinig mogelijk (bijkomende) impact is op de landbouw, bijv. restpercelen of buffers rond de hoogspanningsstations, de eventueel indirecte impact op landbouw moet ook beoordeeld worden.

Indien er vanuit de plan-MER maatregelen voorgesteld worden, zullen de mogelijke afgeleide effecten van deze maatregelen eveneens beoordeeld worden in de desbetreffende relevante disciplines van het plan-MER (bijv. mens-ruimtelijke aspecten, onderdeel landbouw).

Veiligheid

Vraag naar veiligheid nabij de masten en onder de geleiders: spelende kinderen, gebruik van ballonnen/vliegers, …

De hoogspanningsmasten op het netwerk van Elia zijn steeds elektrisch geïsoleerd van de spanningsdragende luchtgeleiders. Bovendien zijn de masten zelf steeds geaard, zodat bij een blikseminslag de overspanning veilig naar de ondergrond afgeleid wordt. Er is dus geen elektrocutiegevaar voor spelende kinderen in de buurt van een mast.

Om ook het beklimmen van de masten door derden te bemoeilijken, mag Elia, conform met het KBEI, geen kliminrichting plaatsen in de eerste meters van de mast, en zal de hoger gelegen kliminrichting eveneens afgeschermd worden door een antiklimwering.

Ballonnen en vliegers dragen een elektrisch risico. Wanneer er een verbinding wordt gemaakt tussen een geleider en de grond, bijvoorbeeld door een touwtje van een vlieger, kan er een sterke overslag ontstaan waardoor er een gevaarlijke stroom naar de grond geleid wordt. Het is bijgevolg gevaarlijk om met objecten, zoals ballonnen of vliegers, in de buurt van een hoogspanningslijn te komen. Wanneer er een verbinding wordt gemaakt tussen twee luchtgeleiders, bijvoorbeeld door een ballon, ontstaat er een kortsluiting die een ongewenste stroompanne kan veroorzaken.

De veiligheid van een hoogspanningsverbinding zal verder ook aan bod komen in het effectenonderzoek.

Wat bij blussen brand woning/bedrijf?

Als er een brand is vlakbij een hoogspanningsverbinding, neemt de brandweer contact op met het regionale controlecentrum van Elia, die voor de snelle vrijschakeling van de installaties zorgt.

De brandweer is getraind om rekening te houden met elektrische installaties.

Vraag naar de gevolgen van de aanwezigheid van een helihaven bij de nieuwe campus AZ Delta?

Bij het zoeken van een tracé van een luchtlijn wordt er rekening gehouden met de operationele activiteiten rond deze lijn, opdat deze nog steeds verder gezet kunnen worden. Ook voor de helihaven zal bij een mogelijkse inplanting van de lijn in de nabije zoekzone geanalyseerd worden dat de vliegactiviteiten niet gehinderd worden. Conform de procedures zal desgevallend aan het Directoraat-generaal Luchtvaart, onderdeel van de FOD Mobiliteit, vragen om te analyseren of er bijkomende dag- of nachtbebakening vereist is op de nabije infrastructuur om zo de piloten toe te laten om hun vluchten verder te zetten in alle veiligheid.

Welke gevolgen heeft de aanwezigheid van windturbines langs de E403 en t.h.v kanaal Roeselare-Leie?

De valafstand en de turbulentiekegel achter een windturbine zijn factoren die een risico op de hoogspanningslijnen van Elia vormen. Deze worden verder bekeken in het effectenonderzoek.

Welke gevolgen heeft de aanwezigheid van hoge kantoor- en bedrijfsgebouwen: bijv. Skyline communications en het Accent business park?

Bij het ontwerp van een tracé van een hoogspanningslijn wordt steeds rekening gehouden met de regels van het KBEI. Dit reglement beschrijft de minimale veiligheidsafstanden die gerespecteerd moeten worden tussen de elektrische delen van een luchtlijn en alle andere voorwerpen, zoals de muren of de daken van gebouwen. Ook voor hoge kantoor- en bedrijfsgebouwen worden deze afstanden gerespecteerd.

In het kader van het effectenonderzoek wordt er ook rekening gehouden met de visuele storing door de inplanting van de lijn, en zal er bestudeerd worden hoe deze, rekening houdend met de veiligheidsafstanden, geminimaliseerd wordt.

Welke gevolgen heeft de aanwezigheid van gasleidingen en gasdrukstations? Vraag tot het plaatsen van hoogspanningsleidingen op een veilige afstand van ondergrondse gasleidingen.

In de studiefase van het project worden gasleidingen geïdentificeerd via het KLIP-portaal van de Vlaamse Overheid. Zo zullen naast gasdrukstations masten met een stopfunctie of coördinatiebreuk geplaatst worden, om het risico op schade van deze infrastructuur verder te verminderen, of zal er voor de inplanting van de funderingen rekening gehouden worden met een veiligheidscorridor rond de leidingen.

In het geval van een langdurig parallellisme met gasleidingen wordt nagegaan of er kathodische bescherming geplaatst dient te worden om corrosie te vermijden.

Tijdens de uitvoering van het project, blijven de gasnetbeheerders eveneens betrokken bij het definiëren van de gepaste veiligheidsmaatregelen voor werken in de buurt van hun infrastructuur.

Vraag naar de impact over de nabijheid van een hoogspanningslijn in de buurt van SEVESO-inrichtingen.

Naast een plan-MER zal ook een ruimtelijk veiligheidsrapport (RVR) worden opgemaakt. In dit RVR zal worden onderzocht wat de mogelijke impact kan zijn van de hoogspanningslijn op Seveso-inrichtingen in de direct nabijheid. Op basis van dit RVR zal dan worden gekeken of er (bijkomende) maatregelen moeten worden genomen.

Wat is het risico op ongevallen:

- **Door: het omvallen van een mast (en leidingen)?**
- **Wat is het gevaar bij sneeuw, ijzel, ijspegels en hagel?**
- **Wat is het gevaar bij stormen en hevig onweer?**
- **Wat bij kabelbreuk?**
- **Wat is het gevaar bij defecten aan de hoogspanningslijn?**

Elia hanteert de meest recente standaard dat de nieuwe 380 kV lijnen moeten voldoen aan de strengste voorwaarden van de Europese norm NBN EN 50341-1. Concreet betekent dit dat de masten berekend worden voor een betrouwbaarheidsniveau 3 en dat ze minstens moeten volstaan aan een

wind met een statistische terugkeerperiode van 500 jaar, met andere woorden: de masten moeten weerstaan aan een windsterkte die maar eens om de 500 jaar voorkomt in België. Momenteel zijn er in België nog geen masten gebouwd met deze nieuwe strengste veiligheidsklasse.

Het geval van geleiderbreuk op 380 kV bundelgeleiders door extreme weersomstandigheden is in België sinds het ontstaan van het 380 kV-net nog niet geobserveerd. In het geval van een geleiderbreuk worden de geleiders bovendien automatisch in 100 milliseconde zonder spanning gebracht.

In Frankrijk werd bij regen stro geladen onder een hoogspanning, waarop de stro in brand vloog. Wat is de kans dit zich zal herhalen bij de nieuwe hoogspanningslijnen?

Indien de veiligheidsafstanden gerespecteerd worden is er geen gevaar voor overslag. De veiligheidsmaatregelen zullen duidelijk naar alle betrokkenen gecommuniceerd worden.

Bestaat er een risico bij elektrische fietsen?

De EMC-richtlijn over elektromagnetische compatibiliteit legt regels op aan elektrische toestellen en installaties om de storingen (bv. Bij elektrische fietsen) tot een minimum te beperken. Dit houdt in dat de uitrusting zelf geen magnetische storingen mag veroorzaken die ontoelaatbaar zijn, maar ook dat de uitrusting zelf goed moet kunnen functioneren in haar elektromagnetische omgeving. Hoogspanningslijnen veroorzaken dus geen risico.

Waarvoor zal aarding nodig zijn? Vraag tot duidelijkheid waar dit dient toegepast te worden.

De situaties waarbij een bijkomende aarding noodzakelijk zal zijn, zullen op projectniveau gedetailleerd bepaald en aan de betrokkenen gecommuniceerd worden. De noodzaak aan een bijkomende aarding zal sowieso zeer beperkt zijn.

Wat is de kans op branden van industriegebouwen, zoals in Bavikhove op 30/05/2019?

Er is geen reden om aan te nemen dat er een wijziging van brandgevaar is door de aanwezigheid van een hoogspanningslijn.

Waardeverlies en vergoedingen

Tijdens de periode van publieke raadpleging werden veel vragen gesteld over de mogelijkheid om een financiële vergoeding te krijgen.

De aanduiding van een bovengrondse hoogspanningslijn en een ondergrondse hoogspanningsverbinding in een GRUP gebeurt onder de vorm van een overdruk. Er is geen bestemmingswijziging van de onderliggende bestemmingen. Hierdoor is voor de aanduiding van een hoogspanningslijn geen planschadevergoeding verschuldigd, zie VCRO artikel 2.6.1. §2.

Het kruisen van percelen bij de bouw van een hoogspanningsverbinding zal aanleiding geven tot een erfdienstbaarheid van openbaar nut. Conform de federale wetgeving kunnen overspannen percelen een vergoeding voor het nadeel krijgen. Het nadeel ontstaat niet op planniveau maar bij de vestiging van de erfdienstbaarheid en zal dus vergoed worden door degene die het project realiseert, zijnde de netbeheerder, wanneer het nadeel ontstaat.

Het vergoedingsbeleid van de netbeheerder Elia gaat momenteel verder dan wat wettelijk verplicht is. Er werd aan de netbeheerder gevraagd om ter beoordeling van de billijkheid van de vergoedingen, een evaluatie van haar actuele vergoedingsbeleid voor te leggen aan de Vlaamse Regering, uiterlijk bij de voorlopige vaststelling van het GRUP.

Het vergoedingsbeleid van de netbeheerder voor eigenaars van woningen en bouwgronden is beschikbaar op haar website en wordt als bijlage toegevoegd aan de scopingnota.

Het vergoedingenbeleid voor landbouwaspecten zal onderdeel uitmaken van de evaluatie van het actuele vergoedingsbeleid van de netbeheerder en wordt onder meer gebaseerd op de resultaten van de ILVO-studie naar mogelijke effecten van hoogspanningsinfrastructuur op landbouw. Het huidige landbouwprotocol is terug te vinden op de website van Elia (https://www.elia.be/-/media/project/elia/elia-site/sustainability/20200806eliafichea4landbouwprotocolnl.pdf?la=nl).

Interactie met lopende en toekomstige infrastructuurwerken

1. Windturbines

Doordat potentiële inplantingsplaatsen voor windturbineprojecten in het gedrang worden gebracht, zal het voorgenomen GRUP eerder een omgekeerde werking hebben in het energietransitieverhaal binnen het Vlaamse Gewest.

Voor de hoogspanningsinfrastructuur zijn de regels van het KBEI, het Koninklijk Besluit Elektrische Installaties (Koninklijk besluit tot vaststelling van Boek 1 betreffende de elektrische installaties op laagspanning en op zeer lage spanning, Boek 2 betreffende de elektrische installaties op hoogspanning en Boek 3 betreffende de installaties voor transmissie en distributie van elektrische energie), van toepassing. Deze regels beschrijven welke vrije hoogte er moet blijven tussen de luchtgeleiders en een weg, een lantaarnpaal, een dak, …

Voor windturbines zijn er meer factoren die spelen dan enkel de elektrische veiligheidsafstanden. De turbulentiekegel achter een windturbine kan immers ongewenste trillingen veroorzaken in de geleiders van een luchtlijn. Omwille van deze reden wordt ook rekening gehouden met de tiphoogte en de rotordiameter van windturbines. Ten opzichte van windmolens[9] dient veiligheidshalve een afstand van minimaal 3,5 x de rotordiameter van de windmolen gehouden te worden tot de geleiders. Op een kortere afstand is er interferentie van de luchtverplaatsingen door de windmolens op de geleiders mogelijk.

Indien het om ruimtelijke redenen niet mogelijk is deze afstand aan te houden, dient geval per geval onderzocht te worden of het mogelijk is de om de hoogspanningslijn dichter bij de windmolen te plaatsen. O.a. trillingstudies dienen te worden uitgevoerd om de mogelijke impact van de windmolen op de geleiders in kaart te brengen. Waar het mogelijk blijkt om de hoogspanningslijn op te richten op een afstand die kleiner is dan de 3,5 x de rotordiameter van de windmolen (al dan niet mits bijkomende maatregelen zoals trillingsdempers) is een afstand van 1,5 x de rotordiameter van de windmolen sowieso de fysiek minimale veilige afstand voor strategische lijnen zoals Ventilus.

Het is correct dat er op dezelfde plaats waar een bovengrondse lijn wordt gerealiseerd geen windmolen kan staan. Dat wil niet zeggen dat Ventilus een omgekeerde werking heeft op het energietransitieverhaal, aangezien in de doelstelling van het plan duidelijk gemotiveerd wordt dat Ventilus een noodzakelijke voorwaarde is om de energietransitie mogelijk te maken.

De impact van de huidige en toekomstige windturbines op Ventilus zal verder onderzocht worden in de plan-MER.

Wat betreft de bestaande windmolens langsheen het kanaal Roeselare-Izegem formuleert de startnota dat de luchtlijn op die locatie zal moeten afbuigen. Over welke afstand gaat deze afbuiging

[9] Adviesprocedure voor werken in de buurt van hoogspanningslijnen – windturbines: https://www.elia.be/nl/infrastructuur-en-projecten/veiligheid-in-de-buurt-van-onze-installaties/werken-in-de-buurt-van-hoogspanning

precies? Of zal dit mee onderzocht worden? Is dit wel gewenst, gezien een afbuiging voor meer zichtbaarheid zorgt en bijgevolg de landschappelijke integratie bemoeilijkt.

Bij de uittekening van een mogelijk tracé zal rekening gehouden worden met de vereiste afstanden cf toegelicht in het antwoord op de bovenstaande vraag.

De landschappelijke aspecten zijn een onderdeel van het milieuonderzoek.

Hoe kan een bovengrondse hoogspanningsverbinding optimaal gerealiseerd worden in combinatie met reeds vergunde en/of nog niet gerealiseerde windturbines, bijvoorbeeld langsheen de E403? Wat met nieuwe vergunningsaanvragen voor windturbines ter hoogte van de verschillende alternatieven?

Verder onderzoek dient uit te wijzen hoe een bovengrondse hoogspanningsverbinding optimaal kan gerealiseerd worden in de omgeving van vergunde en/of nog niet gerealiseerde windturbines. Dit is afhankelijk van de effectenbeoordeling en de keuze van een tracé. Binnen de effectenbeoordeling zal voor de feitelijke referentiesituatie worden uitgegaan van de huidige situatie inclusief duidelijk gekende ontwikkelingen die zich de komende (5-tal) jaren zullen voordoen, waaronder de reeds vergunde maar nog niet gerealiseerde windturbines binnen het studiegebied.

2. E403

De aanleg van het traject volgt de autosnelweg E403 en is volledig in agrarisch gebied gelegen. Samen met de geplande oprichting van windmolens, zowel ten noorden als ten zuiden van het traject, wordt een bijna industrieel lint gecreëerd. . Er is reeds veel geluidshinder, hinder van windmolens en hinder van de groeiende industrie. De leiding zorgt voor verdere visuele vervuiling en devaluatie van eigendom.

Hier kan gesteld worden dat de goede ruimtelijke ordening in het gedrang komt.

De bundeling met de lijnvormige infrastructuur van de E403 volgt het bundelingsprincipe van het RSV. Het bundelingsprincipe is een principe dat, in uitvoering van het RSV, wordt toegepast voor Ventilus.

Om de ruimtelijke impact van nieuwe bovengrondse elektriciteitslijnen zo veel mogelijk te beperken, wordt een nuttige bundeling met lijninfrastructuren van Vlaams niveau vooropgesteld, zonder dat het bundelingsprincipe de verdere ontwikkeling van het hoogspanningsnet in het gedrang brengt. In functie van de technische beperkingen worden ondergrondse hoogspanningsleidingen zo veel mogelijk aangelegd in leidingstroken en gebundeld met lijninfrastructuren van lokaal of bovenlokaal niveau, voor zover dit juridisch realiseerbaar is. De E403 is als hoofdweg aangeduid in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen. De bundeling met de lijnvormige infrastructuur van de E403 volgt het bundelingsprincipe van het RSV.

De definiëring en toepassing van de ruimtelijke principes komen uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5 van de scopingnota ‘Ruimtelijke principes’.

Belemmert een bundeling van het tracé met de E403 toekomstige verbeteringen/uitbreidingen aan de weginfrastructuur, waaronder een derde rijvak?

De bevoegde instantie inzake het beheer van de E403, het Agentschap Wegen en Verkeer, is betrokken binnen het planproces als adviesinstantie. Tijdens de publieke raadpleging heeft zij de startnota met bijhorende bijlagen, waarbinnen de alternatieven beschreven worden, kunnen raadplegen. Het Agentschap had in haar advies geen bezwaren of opmerkingen met betrekking tot de beschreven alternatieven. In het planproces wordt rekening gehouden met de bouwvrije stroken in functie van de weginfrastructuur zoals deze in de sectorale wetgeving vastgelegd zijn.

Wat met het plan om een ecotunnel te voorzien onder E403 i.f.v. de natuurverbinding tussen de bossen van Zedelgem en Loppem? Is dit nog mogelijk bij dit project?

De bevoegde instantie inzake het beheer van de E403, het Agentschap Wegen en Verkeer, is betrokken binnen het planproces als adviesinstantie. Tijdens de publieke raadpleging heeft zij de startnota met bijhorende bijlagen, waarbinnen de alternatieven beschreven worden, kunnen raadplegen. Het Agentschap had in haar advies geen bezwaren of opmerkingen met betrekking tot de beschreven alternatieven. De exacte locaties van diverse bouwstenen van Ventilus, zoals de masten bij bovengrondse hoogspanningslijnen en van mofputten bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen, kunnen pas op projectniveau bepaald worden. Waar mogelijk zal de tracering reeds rekening houden met de afstemming ten opzichte van lopende en toekomstige projecten.

Op hoeveel meter van de autosnelweg E403 wordt de hoogspanningslijn aangelegd?

In het onderzoek wordt rekening gehouden met de bouwvrije stroken in functie van de weginfrastructuur zoals deze in de sectorale wetgeving vastgelegd zijn. Dit aspect komt uitgebreid aan bod in hoofdstuk 5.3.2 van de scopingnota.

3. Infrabel

Infrabel vraagt het aantal spoorkruisingen tot een minimum te beperken.

Het KBEI schrijft voor dat het aantal kruisingen minimaal moet blijven, maar sluit deze niet uit. Het KBEI voorziet dat de masten langs weerszijden van een spoorweg een verhoogde veiligheidsinrichting voor de vasthechting van geleiders bevatten met minstens een dubbele isolatorketting, en dat masten met een spoorweg binnen een straal gelijk aan de hoogte van de mast + 2 m van het ankertype zijn.

Hier wordt maximaal rekening mee gehouden.

Algemeen vraagt Infrabel een 10m brede bouwvrije strook langsheen het spoorlichaam waarbinnen enkel spoorgebonden constructies of inrichtingen mogen opgetrokken worden.

Hier wordt rekening mee gehouden.

Er wordt ook vastgesteld dat een aantal inspraakreacties algemene standpunten over en tegen (verschillende onderdelen) het voorliggend plan betreffen. Deze inspraakreacties voeren geen inhoudelijke argumenten aan om deze standpunten te onderbouwen en/of geven niet aan wat het belang ervan is voor het verder bepalen van het onderzoek. Hoewel deze inspraakreacties een duidelijk signaal zijn, kan er in deze fase enkel akte van worden genomen. Ze geven wel inzicht over welke elementen er nog veel discussie, onbegrip, onzekerheid en vragen bestaan. Hiermee zal rekening worden gehouden tijdens de verdere procedure. Aan de hand van de inspraakreacties besliste het planteam om in deze fase een dubbelcheck technologie, een landbouwimpactstudie en een stakeholdersgroep gezondheid te organiseren. De resultaten hiervan zijn opgenomen en verwerkt in zowel deze bijlage als de scopingnota zelf. De methoden die hierbij gehanteerd werden, zijn opgenomen in de procesnota.

Bezwaren en standpunten die verder gemotiveerd werden en/of aangeven wat het belang ervan is voor het verder bepalen van het onderzoek, worden hieronder besproken.

Alle objecten die de vlakken opgenomen in de luchtadvieskaart overschrijden, moeten geëvalueerd worden. Deze objecten mogen niet aanwezig zijn zonder een voorafgaand akkoord van de betrokkene partijen.

Bij de opmaak van het plan zal rekening worden gehouden met de inzichten en het advies van het Directoraat-generaal Luchtvaart, onderdeel van de FOD Mobiliteit. Zij zullen de infrastructuur analyseren en oordelen of er bijkomende dag- of nachtbebakening vereist is op de nabije infrastructuur.

Indien er bewezen wordt dat mensen die onder de hoogspanning wonen effectief ziek worden door de hoogspanning, kan men dan de betrokkenen juridisch vervolgen?

Om zich op buitencontractuele aansprakelijkheid te beroepen moet het slachtoffer de vervulling van drie voorwaarden aantonen. Er moet een aanwezigheid van toerekenbare fout zijn. Naar aanleiding van deze fout moet de schade (ziekte) ontstaan. Bovendien moet nog het oorzakelijk verband tussen de fout en de schade bestaan. Als aan al deze voorwaarden is voldaan, kunnen de betrokkenen eventueel aansprakelijk gesteld worden.

Wat is na traject 1 het meest haalbare, goedkoopste traject om te realiseren?

In deze fase, voor het bepalen van de scope voor het verdere milieuonderzoek, worden economische aspecten niet meegenomen. De alternatieven zullen in verschillende effectenbeoordelingen op hun effecten worden onderzocht waaronder ook een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Dit onderzoek zal samen met de overige effectenbeoordelingen (het plan-MER, RVR) de onderbouwing vormen van de uiteindelijke keuze van het voorkeursalternatief. Het plan, dat gelinkt is met de concrete realisatie van een project en dus eventuele (inrichtings)alternatieven moeten zowel aan de plandoelstellingen als aan deze algemene overkoepelende doelstelling voldoen. Dit wordt verder verduidelijkt in de scopingnota.

Mogen bestaande woningen op en langs het toekomstige traject blijven staan?

Het Departement Omgeving organiseerde in 2010 een consultatietraject met wetenschappers en stakeholders over het omgaan met de milieu-en gezondheidsrisico´s van hoogspanningslijnen. Dat traject heeft geleid tot een aantal aanbevelingen die gebaseerd zijn op voorzorg en tot doel hebben om blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen te verminderen. De Vlaamse Regering heeft, rekening houdend met de conclusies van het consultatietraject en de bezorgdheid van de inwoners die onder een nieuwe hoogspanningslijn zouden komen te liggen, een aantal aanbevelingen gemaakt in haar mededeling van 1 juni 2012, waaronder:

- Het overspannen van bestaande gevoelige functies[10] bij nieuwe hoogspanningslijnen tot een minimum beperken. De Vlaamse overheid zorgt ervoor om bij voorkeur geen bestaande gevoelige functies te overspannen bij nieuwe hoogspanningslijnen en om zo weinig mogelijk woningen / onbebouwde woonpercelen te overspannen.
- Geen nieuwe gevoelige functies plaatsen in de magneetveldzone van bestaande hoogspanningslijnen.
- Er wordt een compensatie voorzien van de waardevermindering van woningen en een opkoopregeling van de woningen in de zone met gebruiksbeperkingen ter hoogte van de nieuwe bovengrondse lijnen. Deze maatregel was niet geïnspireerd vanuit het voorzorgsprincipe omwille van de gezondheid maar was gericht op de verminderde maatschappelijke acceptatie om bovengrondse lijnen boven of in directe nabijheid van woningen te laten lopen.

Waar kan ik de studie van Arcadis van eind 2018 raadplegen?

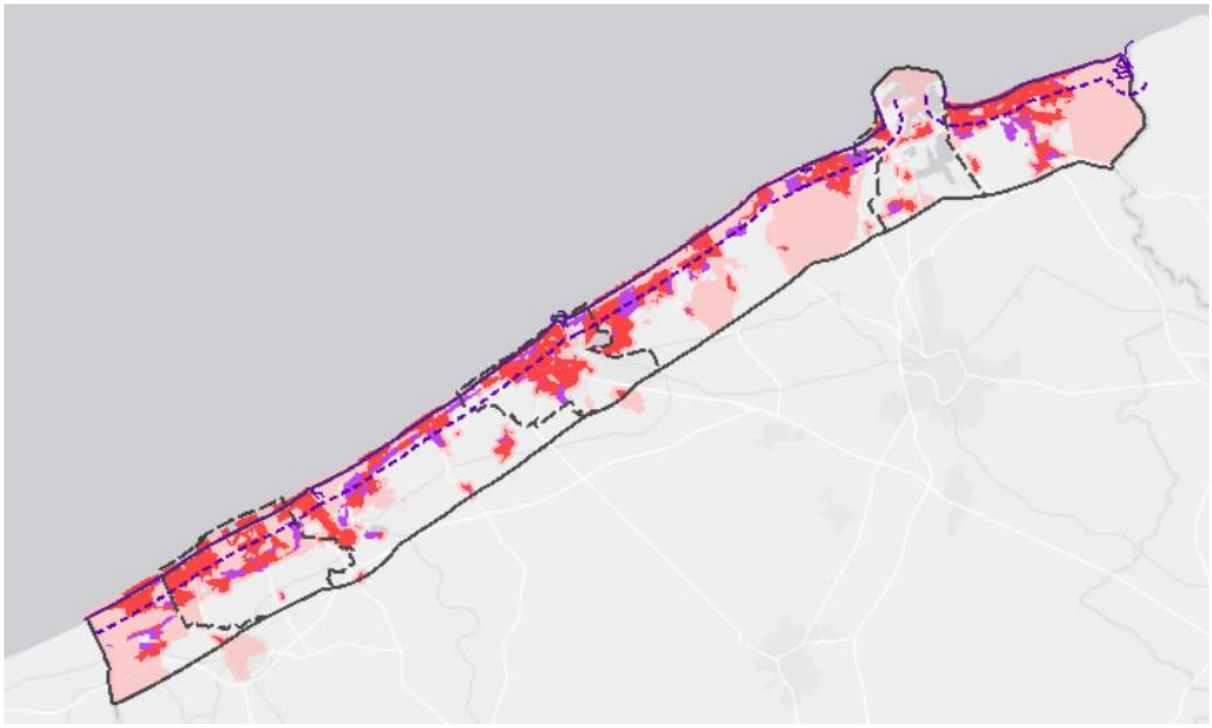
Er is geen studie van Arcadis uit 2018 gekend bij het planteam die relevant is voor dit GRUP.

[10] Met “gevoelige functies” wordt bedoeld scholen en kinderopvangvoorzieningen (buitenschoolse opvang verbonden aan een kinderdagverblijf, crèche, initiatief buitenschoolse opvang, lokale dienst – buitenschoolse opvang, lokale dienst – voorschoolse opvang, onthaalouders, peutertuin, zelfstandig kinderdagverblijf en zelfstandig onthaalouder).

LOCATIESTUDIE “VENTILUS”

AANLANDING ZEEKABELS

Eindrapport



Opdrachtgever: ELIA

Datum: 27/02/2019

Titel	Locatiestudies aanlanding zeekabels
Opdrachtgever	Elia
Contactpersoon opdrachtgever	Jeroen Mentens
Indiener	Tractebel (Tractebel Engineering n.v.) Van Immerseelstraat 66 - 2018 Antwerpen T +32 3 270 92 92 - info@tractebel.engie.com
Contactpersoon indiener	Nele Aerts
Datum	27/02/2019
Versienummer	14
Projectnummer	P.012238

TRACTEBEL

ENGIE

KWALITEIT

DOCUMENTVERANTWOORDELIJKHEID

Auteur(s)	Nele Aerts, Ine Darras, Fien De Buysere	Datum 26/02/2019
Documentscreener(s)	Nele Aerts	27/02/2019

BESTANDSINFORMATIE

Bestandsnaam	P.012238-50-004-14 Eindrapport locatiestudie Elia_zonder TC
Laatst opgeslagen	28/02/2019

INHOUD

1 Inleiding 7

2 Methodiek 7

3 Aanlanding van zeekabels 9

3.1 Doelstelling 9

3.1.1 Scenario 1: mofput op het strand 9

3.1.2 Scenario 2: mofput in de polders 10

3.1.3 Aandachtspunt bij beide scenario's 10

3.2 Studiegebied 11

3.3 Randvoorwaarden 11

3.3.1 Eerste orde randvoorwaarden 11

3.3.2 Tweede orde randvoorwaarden 14

3.4 Analysefase 20

3.4.1 Scenario 1: mofput op het strand 20

3.4.2 Scenario 2: mofput in de polders 43

4 Synthese 77

5 Bijlagen 81

5.1 Werfzones scenario's 81

5.2 Beoordelingskader aanlanding zeekabels 82

1 Inleiding

Dit rapport kadert in een locatiestudie (locatiestudie 'Ventilus') die Elia laat uitvoeren om de mogelijkheden voor het aanlanden van zeekabels op de kust te onderzoeken. De studie vormt een eerste voorbereidende stap. Een extra aanlanding is nodig voor onder meer de realisatie van bijkomende offshore onthaalcapaciteit die zal worden gerealiseerd in uitvoering van het Belgische energiebeleid en conform het nieuwe Marien Ruimtelijk Plan 2020-2026.

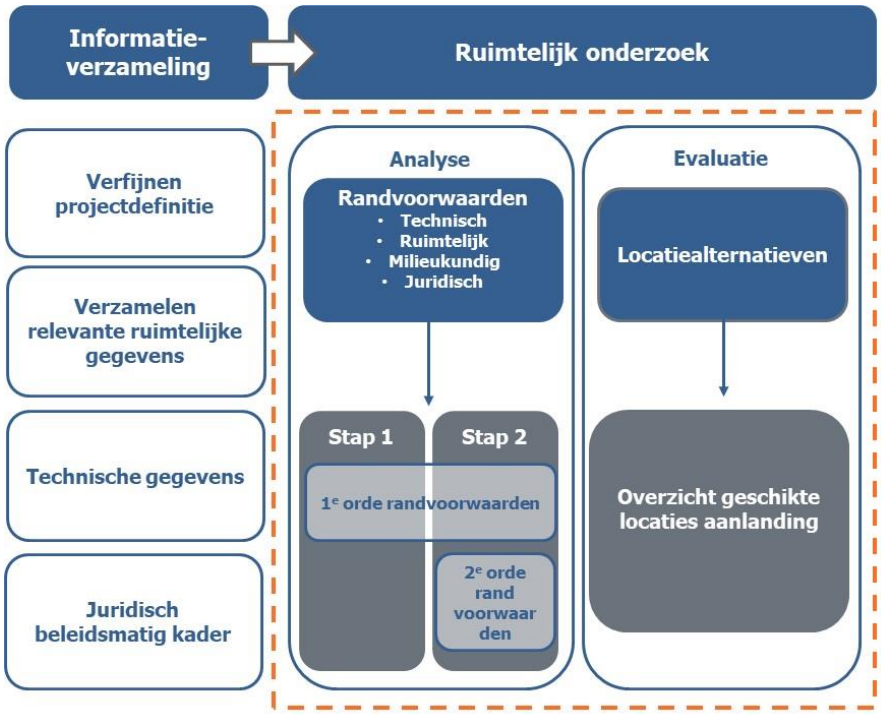
De bedoeling van dit onderzoek is om de mogelijkheden, zowel op ruimtelijk als milieukundig vlak, te verkennen. Het onderzoek van de wijze (via welk proces, met de inzet van welk beleidsinstrumentarium, kostprijsafwegingen) waarop het project kan worden gerealiseerd, behoort niet tot de opdracht. De locatiestudie heeft in dit opzicht een welbepaalde focus en abstractieniveau, aangezien proces- en procedurele aspecten, kostprijsaspecten en consultatie van de betrokken actoren, voorlopig niet in beschouwing worden genomen of uitgevoerd. In deze fase van de studie is er bijgevolg geen extern overleg met betrokken overheidsdiensten en belanghebbenden. De studie wordt louter uitgevoerd op basis van analyse van ruimtelijke en milieukundige informatie en interpretatie.

2 Methodiek

In voorliggende interne voorstudie worden een aantal geschikte locaties voor het aanlanden van zeekabels op de kust geselecteerd op basis van een aantal vooraf gedefinieerde randvoorwaarden. Het onderzoek zal leiden tot:

- Een overzicht van geschikte locaties voor aanlanding in de volledige kustzone en in het bijzonder in de focusgebieden Koksijde, Oostende, Zeebrugge;
- Een overzicht van de voornaamste randvoorwaarden voor de beslissing tot uitsluiting van locaties (knelpunten / impacts) alsook mogelijke opportuniteiten.

De gevolgde methodiek om te komen tot de gewenste locaties, bestaat uit verschillende stappen:



Voorafgaand aan het ruimtelijk onderzoek wordt de nodige informatie geïnventariseerd en verzameld. Het tracéonderzoek bestaat vervolgens uit een analysefase en een evaluatiefase.

1. Analysefase

De randvoorwaarden worden geïnventariseerd en ingedeeld in technische, ruimtelijke, maatschappelijke/ milieukundige en juridische randvoorwaarden. Daarnaast wordt een onderscheid gemaakt tussen randvoorwaarden in eerste en tweede orde. De eerste randvoorwaarden zijn te begrijpen als randvoorwaarden die bij niet-naleving de uitvoering van het project onmogelijk maken en dus bijgevolg uitsluiting van bepaalde zones impliceren.

De analyse wordt getrapt uitgevoerd, gezien het voor sommige randvoorwaarden enkel zinvol is ze in 2de orde mee te nemen. Voor de randvoorwaarden in eerste orde is bijvoorbeeld de aanwezigheid van (hoofd)wegenis een strikte randvoorwaarde, het is echter enkel relevant deze pas in een tweede stap mee te nemen van zodra overige uitsluitende criteria werden toegepast. Wanneer een zone niet voldoet aan de tweede orde randvoorwaarden betekent dit niet dat de uitvoering niet mogelijk is, wel dat de uitvoering (mogelijk) bemoeilijk wordt.

2. Evaluatiefase

De evaluatiefase volgt na de analyse/trechtering van eerste en tweede orde randvoorwaarden en heeft tot doel de meest kansrijke zones te selecteren. Er wordt hierbij een overzicht van alle geschikte locaties voor de aanlanding van zeekabels gegeven.

Het rapport is opgebouwd uit 5 hoofdstukken (inclusief de inleidende hoofdstukken).

In hoofdstuk 3 ligt de focus op de aanlanding van de zeekabels. Hoofdstuk 4 is een synthetiserend hoofdstuk. Tot slot volgen de bijlagen in hoofdstuk 5.

3 Aanlanding van zeekabels

3.1 Doelstelling

Voor deze studie wordt uitgegaan van een maximale bundeling van de aanlandende kabels onshore. De gezamenlijke aanlanding en een gezamenlijk tracé voor alle kabels samen wordt als uitgangspunt genomen.

Er worden mogelijke locaties gezocht voor de aanlanding van zeekabels. Hierbij zijn 2 verschillende scenario's mogelijk:

1. Er wordt eerst een transitieput (mofput) op het strand aangelegd waar de zeekabel wordt verbonden aan de landkabel. Deze landkabel zal dan via een boring onder de duinen getrokken worden naar de andere kant van de duinen.
2. De zeekabel wordt rechtstreeks in een boring onder de duinen getrokken naar de andere kant van de duinen. Aan deze zijde zal de zeekabel verbonden worden met de landkabel in een mofput.

3.1.1 Scenario 1: mofput op het strand

De aanlanding van alle kabels samen vereist een aaneengesloten werkzone van 60 meter breed (haaks op waterlijn) en 250 meter lang (parallel met waterlijn) op het strand. Deze werkstrook is gelegen boven de hoogwaterlijn.

De lengte van de werkzone van 250 m kan verkleind worden door de aanlandende kabels op te splitsen in meerdere aanlandingen. Er moeten dan wel verschillende werkzones van 60 m haaks op de kustlijn en minimaal 50 m lang (per aanlandende kabel) voorzien worden, wat niet optimaal is qua hinder, en wordt daarom niet meegenomen in deze eerste analyse.

De breedte van de werkzone bestaat uit twee delen:

- Een eerste minimale breedte van 30 m is nodig voor de realisatie van de betonnen verbindingsputten waarin de zee- en de landkabels met elkaar verbonden worden.
- Een tweede minimale breedte is nodig voor het uitvoeren van de gestuurde boring landinwaarts. De breedte daarvan is afhankelijk van de diepte van deze boring. Voor onderliggende studie gaat men er van uit dat de aan te houden diepte onder de teen van de duinen (start van de duinen) gelijk is aan maximaal 8 m. Rekening houdend met deze waarde komt men aan een breedte van 30 m (indien blijkt dat de diepte aan te houden onder de teen van de duinen groter is, zal de benodigde breedte op het strand ook meer zijn). De aan te houden diepte onder de duinen kan echter pas definitief bepaald worden door het uitvoeren van gedetailleerde boorstudies. Zie verder onder § 3.1.3.

Vanaf het aanlandingspunt worden de kabels via een gestuurde boring landinwaarts gebracht. De lokale omstandigheden langsheen de hele kustzone (aanwezigheid van dichte bebouwing, duingebied, dichte infrastructuur,…) laten de aanleg in open sleuf immers voor dit aantal kabels niet toe. De grootte van de werkzone voor het uittredepunt is minstens 150 meter op 50 meter.

Na deze eerste gestuurde boring kunnen de aanlandende kabels verder aangelegd worden in open sleuf. Om alle 6 kabels gezamenlijk aan te leggen in open sleuf is een werkstrook van 45 m-65 m breed (afhankelijk van ligging in industriegebied of landbouwgebied) nodig.

De zone in landbouwgebied is groter vermits men hier rekening moet houden met de impact van de kabels op de ondergrond (de opwarming hiervan). De kabels worden (relatief ten opzichte van

plaatsing in wegenis/industrie) verder uit elkaar geplaatst om zo de opwarming van de ondergrond te minimaliseren. In de wegenis/industrie kunnen de kabels dichter bij elkaar geplaatst worden.

Indien nodig kunnen de aanlandende kabels verder opgesplitst worden om meerdere 'kleinere' werkstroken te beogen (bv in dichter bewoonde gebieden). Dit leidt tot meerdere werven op korte afstand van elkaar en dus tot een hogere hinder dan één sleuftracé, maar dat wordt niet bij voorbaat uitgesloten.

Een schematische weergave van de werfzone voor dit scenario wordt weergegeven in paragraaf 5.1.

3.1.2 Scenario 2: mofput in de polders

De aanlanding van de zeekabel vereist een aaneengesloten werkzone van 60 meter breed (haaks op waterlijn) en 250 meter lang (parallel met waterlijn) op het strand. Deze werkstrook hoeft niet boven de hoogwaterlijn gelegen te zijn omdat in dit scenario de vermoffing van zeekabel naar landkabel aan landzijde van de duinen wordt uitgevoerd De locatie waar deze mofput zal uitgevoerd worden; zal plaatsvinden in de zone van 150 m op 50 m die ook reeds in scenario 1 werd gebruikt.

Vervolgens kunnen de aanlandende kabels verder aangelegd worden in open sleuf. Om alle 6 kabels gezamenlijk aan te leggen in open sleuf is een werkstrook van 45 m - 65 m breed (afhankelijk van ligging in industriegebied of landbouwgebied). Indien nodig kunnen de aanlandende kabels verder opgesplitst worden om meerdere 'kleinere' werkstroken te beogen (bv in dichter bewoonde gebieden). Dit leidt tot meerdere werven op korte afstand van elkaar en dus tot een hogere hinder dan één sleuftracé, maar dat wordt niet bij voorbaat uitgesloten.

Een schematische weergave van de werfzone voor dit scenario wordt weergegeven in paragraaf 5.1.

3.1.3 Aandachtspunt bij beide scenario's

De aan te houden diepte onder de duinen kan pas bepaald worden door het uitvoeren van gedetailleerde boorstudies. Bij de boring moet te allen tijde vermeden worden dat het kleimengsel dat onder druk in het boorgat zit naar de oppervlakte doorslaat. Hierdoor is vaak een grotere diepte nodig onder de duinen dan de 8 m waarmee nu rekening gehouden wordt. Bijvoorbeeld bij de reeds uitgevoerde aanlanding te Zeebrugge werd een diepte tot 14 m onder de teen van de duinen aangehouden door de aanwezigheid van de laagten en waterpartijen in het natuurgebied de Fonteintjes.

Eenmaal de diepte gekend is, kan de technische haalbaarheid bevestigd worden. Enerzijds moet nagekeken worden of de benodigde werkzone op het strand nog steeds beschikbaar is bij de finale diepte (bij scenario 1), anderzijds moet voor beide scenario's nagekeken worden of de beoogde transportcapaciteit behaald wordt, gezien deze ook afhankelijk is van de diepte van de boring.

Voor elke aanlandingslocatie zijn bijgevolg verdere detailstudies nodig om de definitieve vereiste diepte van de boring onder de duinen te kennen en de technische haalbaarheid op vlak van benodigde werkzone en transportcapaciteit te bevestigen.

3.2 Studiegebied

Figuur 2 Aanlanding zeekabels studiegebied

Het studiegebied voor de aanlanding is het gebied waarbinnen gezocht wordt naar geschikte locaties. Hiertoe wordt een zone van 1,5 kilometer landinwaarts vanaf de hoogwaterlijn afgebakend. In deze zone wordt gezocht naar een locatie waar de combinatie van intredepunt, onderboring en uittredepunt gerealiseerd kan worden. Om te kunnen nagaan of voor de mogelijke aanlandingsplaatsen de aanleg van een verder kabeltracé vanaf het uittredepunt richting het HS station realistisch is, wordt het studiegebied uitgebreid tot 5 kilometer landinwaarts[1]. Vanuit Oostende, Koksijde en Zeebrugge zijn er mogelijkheden om bestaande corridors te herbenutten voor de realisatie van de nieuwe luchtlijn. Daarom worden deze gemeenten als 'focusgebieden' geïdentificeerd. De volledige kust van België wordt echter bestudeerd, zodanig dat alle opties (ook buiten de focusgebieden) in rekening worden genomen.

3.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden worden samengevat in Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3 in paragraaf 5.2.

In wat volgt, wordt een korte toelichting gegeven bij elk van de randvoorwaarden.

3.3.1 Eerste orde randvoorwaarden

3.3.1.1 Technische randvoorwaarden

Geen opeenvolging van fysische obstructies

De connectie van de aanlanding naar de polder wordt voorzien via een gestuurde boring onder de duinen en andere fysische obstructies. De technisch haalbare maximumafstand voor gestuurde boringen met voldoende lage kansen op technische problemen is afhankelijk van het scenario (zie § 3.1.1 en 3.1.2). In scenario 1 mogen de obstructies, of sequentiële obstructies vanaf het intredepunt aan de kust, niet breder zijn dan 1.500 m, in scenario 2 bedraagt de overbrugbare afstand slechts 1.000 m aangezien de zeekabel een groter gewicht heeft dan de landkabel.

Onder fysische obstructies worden volgende zaken begrepen:

- Oppervlaktewater (in een eerste fase geselecteerd op basis van het Grootschalig Referentiebestand)
- Wegenis (in een eerste fase geselecteerd op basis van het Grootschalig Referentiebestand)
- Kunstwerken (in een eerste fase geselecteerd op basis van het Grootschalig Referentiebestand)
- Spoorwegen (in een eerste fase geselecteerd op basis van het Grootschalig Referentiebestand)

[1] De ruimtelijke, milieukundige en technische analyse voor het tracé tussen de aanlanding (5km landinwaarts) en het station is geen onderdeel van deze studie.

Deze elementen worden uitgesloten uit het studiegebied. Boringen onder deze elementen zijn uiteraard wel mogelijk indien de breedte minder dan respectievelijk 1.500 en 1.000 meter bedraagt, afhankelijk van het scenario.

Het verwijderen van de fysieke obstructies, wat bv. in het geval van wegenis theoretisch mogelijk is, om intrede- en uittredepunten voor boringen mogelijk te maken, wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten.

3.3.1.2 Ruimtelijke randvoorwaarden

Zoekzone

De zoekzone op macroniveau komt overeen met het hoger beschreven studiegebied: er wordt binnen een zone van 1,5 km landinwaarts nagegaan waar de combinatie van een intredepunt, onderboring en uittredepunt gerealiseerd kan worden, en tot 5 km landinwaarts worden de mogelijkheden voor een verder tracé in open sleuf richting het HS station nagegaan.

Geen onderboring van bepaalde landgebruiksvormen

De onderboring van gebieden voor verblijfsrecreatie, bewoonde gebieden (planologische bestemming) en gebieden met zonevreemd wonen of verblijfsrecreatie worden in eerste instantie uitgesloten. Hoewel een onderboring technisch mogelijk is en er geen nadelige gevolgen aan gekoppeld kunnen worden, is het de praktijk bij Elia om deze gebieden[2] te vermijden voor gestuurde boringen. Logischerwijze kan het in- en uittredepunt ook niet in deze gebieden gelegen zijn.

3.3.1.3 Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden

Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)

Intensieve recreatiezones (bewaakte strandzones, zones met strandcabines,…) op het strand worden in eerste instantie uitgesloten voor de (werfzone van de) aanlanding. Deze zones werden geselecteerd op basis van zomerluchtfoto's.

Het uitsluiten van deze intensieve strandrecreatiezones berust op maatschappelijke, niet op technische knelpunten.

Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt

In functie van het voorzorgsprincipe met betrekking tot magnetische velden wordt voor deze eerste analyse een afstand van 9 m gehouden van de buitenste kabel ten opzichte van strandrecreatie en functies voor langdurig verblijf (wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, …).

---

[2] Deze gebieden vormen een indicatie voor de aanwezigheid van bewoning. Het is er niet zo zeer om te doen de genoemde bestemmingen te vermijden maar eerder het onderboren van bijvoorbeeld woningen, kampeerterreinen, …. Strikt genomen dient enkel het onderboren van bewoonde gebouwen vermeden te worden (volgens de code van goede praktijk van Elia).

Deze afstand is gebaseerd op de waarden voor de gelijkaardige aanlanding van de eerste fase van het Modular Offshore Grid te Zeebrugge:

1. Op het strand bedraagt de afstand vanaf de buitenste kabel waarop het magnetisch veld lager is dan 0,4 µT bij gemiddelde belasting, op grondniveau boven de kabel:

   5,8 m
2. Op het strand bedraagt de maximale afstand vanaf de buitenste kabel waarop het magnetisch veld lager is dan 0,4 µT bij gemiddelde belasting, op grondniveau boven de moffen: 9 m
3. De maximale waarde van het magnetisch veld dat op grondniveau op het strand behaald wordt bij gemiddelde en maximale belasting is respectievelijk 4 µT en 12 µT
4. In de polders varieert de afstand vanaf de buitenste kabel waarop het magnetisch veld lager is dan 0,4 µT bij gemiddelde belasting, tussen 5,5m en 9m afhankelijk van de configuratie van de kabels.

Werfzones (in- en uittredepunt horizontaal gestuurde boring en aanleg in open sleuf) worden omwille van het voorzorgsprincipe met betrekking tot magnetische velden bijgevolg bij voorkeur gelegd op een afstand van 9 m van functies met langdurig verblijf van personen (wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, …).

Het uitsluiten van deze zones berust op maatschappelijke, niet op technische of milieukundige knelpunten.

3.3.1.4 Juridische randvoorwaarden

De situering van het in- en/of uittredepunt is uitgesloten in zowel beschermd duingebied als in Vlaamse en erkende natuurreservaten.

Beschermd duingebied

De wet op het natuurbehoud van 12 juli 1973 stelt in Artikel 52N dat:

De aanduiding als beschermd duingebied of als voor het duingebied belangrijk landbouwgebied houdt vanaf de publikatie van het besluit[3] een volledig bouwverbod in, ongeacht de bestemming van het goed volgens de plannen van aanleg of de ruimtelijke uitvoeringsplannen, van kracht in de ruimtelijke ordening of volgens de verleende verkavelingsvergunningen. Het bouwverbod heeft betrekking op alle werken die vergunningsplichtig zijn overeenkomstig artikel 4.2.1 van de Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening. Dit bouwverbod geldt niet voor zover het gaat om verbouwing, herbouw en uitbreiding van bestaande landbouwbedrijven en voor zover deze werken geen wijziging van de landbouwbestemming tot gevolg hebben.

Het bouwverbod is volledig, ongeacht de planologische bestemming van de grond, en slaat op alle vergunningsplichtige stedenbouwkundige handelingen vermeld in artikel 4.2.1 VCRO.

Aangezien *'het reliëf van de bodem aanmerkelijk wijzigen, onder meer door de bodem aan te vullen, op te hogen, uit te graven of uit te diepen waarbij de aard of de functie van het terrein wijzigt'* in principe vergunningsplichtig is (artikel 4.2.1, 4° VCRO), kan een dergelijke reliëfwijziging niet vergund worden in beschermd duingebied of voor het duingebied belangrijk landbouwgebied. Indien de aanlanding van de zeekabels een dergelijke aanmerkelijke reliëfwijziging vereist (wat een in concreto beoordeling vergt), is zij niet vergunbaar in beschermd duingebied of voor

[3] Publicatie van het besluit van de Vlaamse Regering betreffende de definitieve aanwijzing van de beschermde duingebieden en van de voor het duingebied belangrijke landbouwgebieden op 30 november 1994.

duingebied belangrijk landbouwgebied. Uiteraard is er maar sprake van een bouwverbod voor zover het betreffende duingebied is aangewezen als beschermd duingebied.

Erkende en Vlaamse natuurreservaten

De Vlaamse Regering kan terreinen die van belang zijn voor het behoud en de ontwikkeling van de natuur of het natuurlijk milieu aanwijzen of erkennen als natuurreservaat. In deze natuurreservaten wordt, via een aangepast beheer, een natuurstreefbeeld behouden of ontwikkeld. Een Vlaams Natuurreservaat wordt door de Vlaamse Regering aangewezen op gronden die het Vlaamse Gewest in eigendom of huur heeft of die daartoe ter beschikking worden gesteld.

De Vlaamse Regering kan tevens natuurreservaten erkennen op verzoek van de eigenaar en/of diegene die het gebruiksrecht heeft, als beiden toestemmen, of van de beheerder, als de eigenaar hiermee instemt.

Art 35 van het Natuurbehoudsdecreet regelt de verbodsbepalingen binnen de erkende en Vlaamse natuurreservaten. Relevant voor dit project is het verbod om:

Opgravingen, boringen, grondwerkzaamheden of exploitatie van materialen te verrichten, welk werk ook uit te voeren dat de aard van de grond, het uitzicht van het terrein, de bronnen en het hydrografisch net zou kunnen wijzigen, boven- of ondergrondse leidingen te leggen en reclameborden en aanplakbrieven te plaatsen.

Binnen de natuurreservaten vermeld in artikel 16ter-decies van het Decreet Natuurbehoud is het verboden, behoudens ontheffing in een goedgekeurd natuurbeheerplan, om '*opgravingen, boringen, grondwerkzaamheden of exploitatie van materialen te verrichten, welk werk ook uit te voeren dat de aard van de grond, het uitzicht van het terrein, de bronnen en het hydrografisch net zou kunnen wijzigen, boven- of ondergrondse leidingen te leggen en reclameborden en aanplakbrieven te plaatsen*' (artikel 35 § 2, eerste alinea, 7° Decreet Natuurbehoud). Het is dus niet mogelijk om ondergrondse kabels aan te leggen in een natuurreservaat (behoudens ontheffing in een goedgekeurd natuurbeheerplan). Een individuele ontheffing lijkt niet mogelijk, nu dit niet voorzien is in artikel 19 en verder van het Besluit Natuurbehoud.

3.3.2 Tweede orde randvoorwaarden

3.3.2.1 Technische randvoorwaarden

Afwezigheid strandhoofden/strandkribben

De aanlanding gebeurt bij voorkeur niet in zones waar functionele strandhoofden aanwezig zijn. Deze werden geselecteerd op basis van luchtfoto en het GRB.

Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van het uittredepunt

Aanwezigheid van de (hoger reeds vermelde) fysische obstructies zoals waterlopen, wegen, spoorwegen, zijn niet wenselijk ter hoogte van het uittredepunt.

Ligging t.o.v. andere nutsleidingen

Er wordt bij voorkeur een afstand van 5 m aan weerszijden van ondergrondse pijpleidingen aangehouden en dit zowel voor het in- en uittredepunt als voor de onderboring. Hiertoe wordt een bufferzone toegevoegd aan het net van Fluxys, Air Liquide, Aquafin, Nato en Gasco.

Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport

Ontsluitingsmogelijkheden voor zwaar transport in de werffase zijn noodzakelijk. De zones waarbij de ontsluiting (op basis van luchtfoto's en wegennet) op het wegennet mogelijk is ter hoogte van het in- en uittredepunt, worden bij voorkeur weerhouden als potentieel kansrijke locaties. Dit criterium wordt niet als uitsluitend beschouwd, gezien ontsluiting altijd gerealiseerd kan worden; het wordt echter wel meegenomen in de prioritering van de mogelijke locaties in de analyse- en evaluatiefase.

3.3.2.2 Ruimtelijke randvoorwaarden

Duurzaam ruimtegebruik/ inpasbaarheid

De aanlanding en de verdere tracékeuze landinwaarts gebeurt bij voorkeur in zones waar een duurzaam ruimtegebruik en een ruimtelijke inpasbaarheid gegarandeerd kunnen worden. De bundeling van het tracé landinwaarts met bestaande lijninfrastructuren is hierbij een te volgen principe. De mogelijkheden voor bundeling worden voor de kansrijke locaties nagegaan.

3.3.2.3 Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden

Uitsluiten geluidsgevoelige functies in de omgeving van de werfzones

Werfzones (in- en uittredepunt horizontaal gestuurde boring) zijn niet wenselijk op een afstand van 200 m rondom geluidsgevoelige functies (wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, …) en worden in eerste instantie uitgesloten.

Vermijden uittredepunt in natte kleibodems

Natte kleibodems bij het uittredepunt van de boring worden bij voorkeur vermeden omwille van de beperkte herstelmogelijkheden na de werken.

3.3.2.4 Juridische randvoorwaarden

Vermijden ligging in- en uittredepunt in juridisch beschermde gebieden

De situering van het in- en uittredepunt is bij voorkeur te vermijden voor een aantal juridische beschermingen: Natura 2000-gebieden, VEN-gebieden, beschermd onroerend erfgoed en vastgestelde relicten van de landschapsatlas.

Het voorzien van een in-of uittredepunt in deze gebieden is juridisch gezien niet per definitie uitgesloten en dient geval per geval uitgewerkt te worden, wat buiten het detailniveau van deze studie valt.

Hierna wordt een beknopt overzicht gegeven van de rechtsgevolgen in de verschillende beschermde gebieden:

RANDVOORWAARDE	INHOUD EN DOELSTELLING	BESPREKING RELEVANTIE
Decreet natuurbehoud en natuurlijk milieu	Het decreet betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu is gericht op de bescherming, de ontwikkeling, het beheer en het herstel van de natuur en de natuurlijke milieus, op de handhaving of het herstel van de daartoe vereiste milieukwaliteit en op het scheppen van een zo breed mogelijk maatschappelijk draagvlak daarvoor. Het natuurdecreet legt met andere woorden de fundamenten voor het natuurbeleid in Vlaanderen. Iedereen die handelingen verricht of hiertoe de opdracht verleent, en die weet of redelijkerwijze kan vermoeden dat de natuurelementen in de onmiddellijke omgeving daardoor kunnen worden vernietigd of ernstig geschaad, is verplicht om alle maatregelen te nemen die redelijkerwijze van hem kunnen worden gevergd om de vernietiging of de schade te voorkomen, te beperken of indien dit niet mogelijk is, te herstellen. Een van de belangrijkste gebiedsgerichte maatregelen is de ontwikkeling van een netwerk van uiterst waardevolle en gevoelige natuurgebieden, met name het Vlaams Ecologisch Netwerk (VEN) en het Integraal Verwevings- en Ondersteunend Netwerk (IVON). In het VEN gelden een aantal algemene voorschriften. Het doel hiervan is minstens de bestaande natuurkwaliteiten van het gebied te behouden. Op termijn zullen, in samenspraak met de verschillende gebruikers en eigenaars, ook specifieke maatregelen worden afgesproken om de bijzondere natuurwaarden te beschermen en te ontwikkelen. Die afspraken worden vastgelegd in een natuurrichtplan. De vogel- en habitatrichtlijngebieden (zie verder) zijn eveneens geïmplementeerd in het Natuurdecreet.	Indien geselecteerde zones gelegen zijn in: • Habitat- of vogelrichtlijngebied: een passende beoordeling is vereist • VEN-gebied: een verscherpte natuurtoets is vereist
Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van nadere regels ter uitvoering van het decreet van 21 oktober 1997 betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu (23 juli 1998) Aangevuld met het gewijzigd natuurdecreet (Art. 13)	Het besluit beschrijft welke vegetatiewijzigingen en wijzigingen aan kleine landschapselementen vergunningsplichtig zijn. Het is verboden de volgende vegetaties te wijzigen, ongeacht hun ruimtelijke bestemming (op graslanden na): ▪ Historisch permanent grasland met inbegrip van het daaraan verbonden microreliëf en poelen, indien deze gelegen zijn in groengebieden, parkgebieden, buffergebieden, bosgebieden en de met deze gebieden vergelijkbare bestemmingsgebieden aangewezen op de plannen van aanleg of de ruimtelijke uitvoeringsplannen van kracht in de ruimtelijke ordening of indien deze gelegen zijn binnen de perimeter van beschermd landschap of van de beschermingsgebieden Poldercomplex en Het Zwin + krekengebied ▪ Vennen en heiden ▪ Moerassen en waterrijke gebieden ▪ Duinvegetatie	Indien geselecteerde zones gelegen zijn in verboden te wijzigen vegetaties: aanleg is verboden tenzij compensatie mogelijk is

RANDVOORWAARDE	INHOUD EN DOELSTELLING	BESPREKING RELEVANTIE
Natura 2000	Binnen Vlaanderen zijn een aantal Speciale Beschermingszones aangeduid of voorgesteld voor aanduiding in het kader van internationale verdragen en Europese Richtlijnen. Het betreft de Vogelrichtlijngebieden (SBZ-V) aangeduid in het kader van richtlijn 79/409/EEG inzake het behoud van de vogelstand (Besluit Vlaamse regering van 17 oktober 1988), de Ramsargebieden in het kader van de internationale Ramsar-Conventie (wet van 22 februari 1979) en de Habitatrichtlijngebieden, voorgesteld in het kader van de Richtlijn 92/43/EEG inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en wilde flora en fauna (Richtlijn van de Raad van 21 mei 1992). De geselecteerde Habitatrichtlijngebieden (SBZ-H) in Vlaanderen werden in 2005 door Europa goedgekeurd. Het hoofddoel van de Europese richtlijnen is het behoud van de biologische diversiteit, weliswaar met inachtneming van de vereisten op economisch, sociaal, cultureel en regionaal vlak. Samen met de Vogelrichtlijngebieden vormen de Habitatrichtlijngebieden een netwerk van beschermde gebieden over de hele Europese Unie, Natura2000 genaamd. Artikel 36ter van het Decreet betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu speelt een cruciale rol in het behoud en beheer van deze gebieden. In §3 van dit artikel wordt vermeld: 'Een vergunningsplichtige activiteit of een plan of programma dat afzonderlijk of in combinatie *met één of meerdere bestaande of voorgestelde activiteiten, plannen of programma's, een betekenisvolle aantasting van de natuurlijke kenmerken van een Speciale Beschermingszone kan veroorzaken, dient onderworpen te worden aan een passende beoordeling wat betreft de betekenisvolle effecten voor de Speciale Beschermingszone'.* Belangrijk zijn eveneens § 4 en 5 die achtereenvolgens vermelden: *§4: De overheid die over een vergunningsaanvraag, een plan of programma moet beslissen, mag de vergunning slechts toestaan of het plan of programma slechts goedkeuren indien het plan of programma of de uitvoering van de activiteit geen betekenisvolle aantasting van de natuurlijke kenmerken van de betrokken Speciale Beschermingszone kan veroorzaken. De bevoegde overheid draagt er steeds zorg voor dat door het opleggen van voorwaarden er geen betekenisvolle aantasting van de natuurlijke kenmerken van een Speciale Beschermingszone kan ontstaan.* *§5: In afwijking op de bepalingen van §4, kan een vergunningsplichtige activiteit die of een plan of programma dat afzonderlijk of in combinatie met één of meer bestaande of voorgestelde activiteiten, plannen of programma's, een betekenisvolle aantasting van de natuurlijke kenmerken van een Speciale Beschermingszone kan veroorzaken, slechts toegestaan of goedgekeurd worden:*	Indien geselecteerde zones gelegen zijn in habitat- of vogelrichtlijngebied: een passende beoordeling is vereist

RANDVOORWAARDE	INHOUD EN DOELSTELLING	BESPREKING RELEVANTIE
	a) nadat is gebleken dat er voor de natuurlijke kenmerken van de Speciale Beschermingszone geen minder schadelijke alternatieve oplossingen zijn en, *b) omwille van dwingende redenen van groot openbaar belang met inbegrip van redenen van sociale of economische aard. Wanneer de betrokken Speciale Beschermingszone of een deelgebied ervan, een gebied met een prioritair type natuurlijke habitat of een prioritaire soort is, komen alleen argumenten die verband houden met de menselijke gezondheid, de openbare veiligheid of met voor het milieu wezenlijk gunstige effecten dan wel, na advies van de Europese Commissie, andere dwingende redenen van groot openbaar belang, in aanmerking.* *De afwijking bedoeld in het voorgaande lid kan bovendien slechts toegestaan worden nadat voldaan is aan de volgende voorwaarden:* *1. de nodige compenserende maatregelen genomen zijn en de nodige actieve instandhoudingsmaatregelen genomen zijn of worden die waarborgen dat de algehele samenhang van de Speciale Beschermingszone en –zones bewaard blijft;* *2. de compenserende maatregelen zijn van die aard dat een evenwaardige habitat of het natuurlijk milieu ervan, van minstens een gelijkaardige oppervlakte in principe actief is ontwikkeld.*	
Bosdecreet	Het bosdecreet, uitgebreid met art. 90bis uit het decreet op natuurbehoud en het natuurlijk milieu (21 oktober 1997) heeft tot gevolg dat elke ontbossing alleen nog mag worden vergund als de ontbossing gebeurt in functie van de uitvoering van werken van algemeen belang of in gebieden met bestemming woongebied en industriegebied of een met voormelde gebieden gelijk te stellen bestemming volgens de geldende plannen van aanleg.	Indien geselecteerde zones gelegen zijn in bosgebied: het project kan niet vergund worden tenzij een ontheffing van het verbod op ontbossing bekomen wordt, alsook een vergunning voor ontbossing. Compensatie is vereist.
Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van nadere regels inzake compensatie van ontbossing en ontheffing van het verbod op ontbossing.	Een compenserende bebossing kan slechts, met inachtneming van alle wettelijke en reglementaire bepalingen, worden uitgevoerd op terreinen die nog niet bebost zijn. Deze bebossing mag afhankelijk van de bestemming van een grond al dan niet plaatsvinden. Daarnaast kan een compenserende bebossing niet gebeuren op terreinen die reeds buiten het kader van artikel 90 bis van het bosdecreet dienen bebost of herbebost te worden.	
Onroerenderfgoeddecreet Onroerenderfgoedbesluit	Regelt de bescherming van monumenten, stads- en dorpsgezichten en landschappen en de instandhouding, het herstel en het beheer van beschermde landschappen. Regelt de	Indien geselecteerde zones gelegen zijn in beschermd erfgoed: een vergunning is mogelijk vereist

RANDVOORWAARDE	INHOUD EN DOELSTELLING	BESPREKING RELEVANTIE
	bescherming, het behoud, de instandhouding, het herstel en het beheer van het archeologisch patrimonium. Het Onroerenderfgoeddecreet, in werking sinds 1 januari 2015, wil het behoud en het beheer van landschappen, monumenten en archeologie verbeteren. Het nieuwe decreet vervangt drie bestaande decreten (Monumentendecreet van 1976, Archeologiedecreet van 1993 en Landschapsdecreet van 1996). Met het decreet wil Vlaanderen onder meer tegemoet komen aan het Europees Verdrag voor de bescherming van archeologisch erfgoed, het zogenaamde Verdrag van Valletta (Malta). Opvallende maatregelen zijn vooral gesitueerd op het vlak van archeologie en de bijkomende verantwoordelijkheden die lokale besturen kunnen opnemen.	

3.4 Analysefase

Om te komen tot geschikte locaties voor de aanlanding van zeekabels wordt een stapsgewijze trechtering toegepast. In wat volgt, wordt meer uitleg gegeven bij deze trechtering. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen aanlanding met mofput op het strand (scenario 1) en aanlanding met mofput in de polders (scenario 2).

3.4.1 Scenario 1: mofput op het strand

3.4.1.1 Stap 1: Oppervlaktedoelstelling

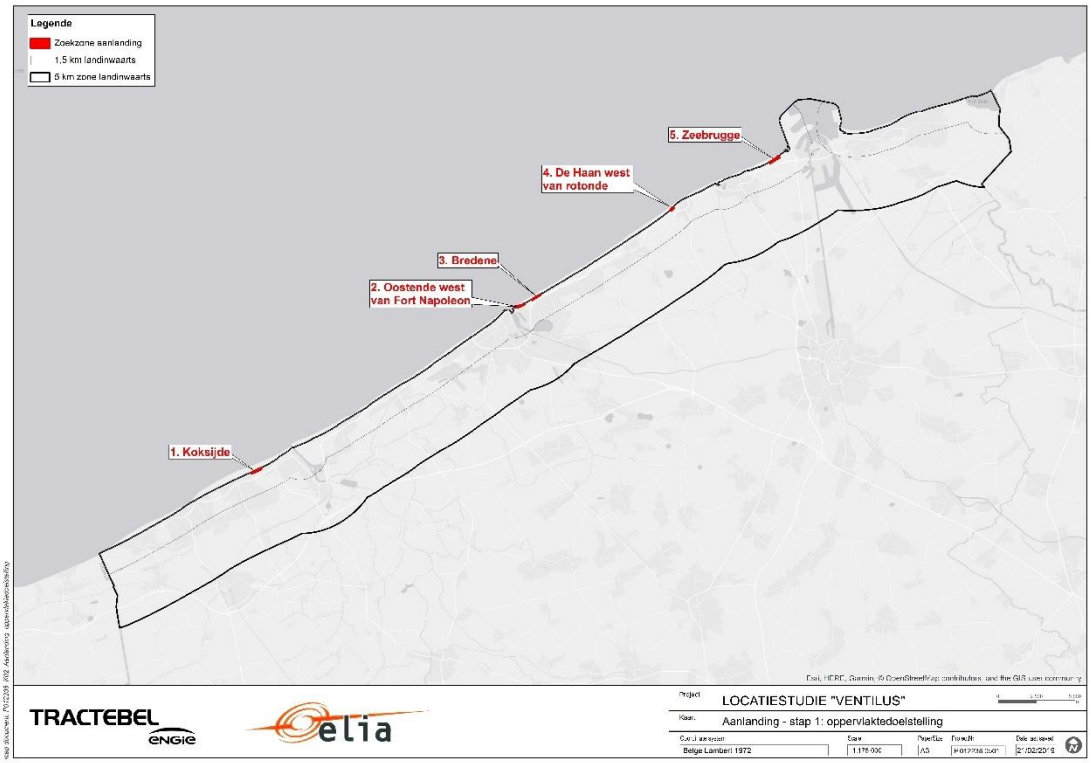
Figuur 3 Aanlanding zeekabels – stap 1: oppervlaktedoelstelling

In eerste instantie wordt gezocht naar een locatie die voldoet aan de oppervlaktedoelstelling van de werfzone op het strand. Hiertoe wordt vanaf de gemiddelde hoogwaterlijn (GHWS)[4] een lijn uitgezet 60 meter landinwaarts. Enkel de locaties waar het strand breder is dan 60 meter, en waar in langsrichting een zone van 250 meter beschikbaar is, worden verder in detail bekeken.

Er zijn slechts 5 locaties langsheen de kust die voldoen aan deze oppervlaktedoelstelling:

1. Koksijde: zone ter hoogte van Hannecartbos
2. Oostende: zone ten westen van Fort Napoleon
3. Bredene: zone ten oosten van Fort Napoleon
4. De Haan: zone ten westen van de rotonde in Wenduine
5. Zeebrugge: zone ten westen van de westelijke strekdam

[4] De GHWS (gemiddelde hoogwaterstand bij springtij) werd bepaald op basis van de lidardata van 2016 en het gemiddelde getij per getijlocatie van 2018 (Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge, Zeebrugge, Vlissingen).



Figuur 1 Overzicht locaties scenario 1

3.4.1.2 Stap 2: Eerste orde randvoorwaarden

Figuur 4 *Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Koksijde – zone ter hoogte van Hannecartbos (scenario 1)*

Figuur 5 *Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Oostende/Bredene – zone ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario* 1)

Figuur 6 *Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden De Haan – zone ten westen van rotonde (scenario 1)*

Figuur 7 *Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Zeebrugge – zone ten westen van de westelijke strekdam (scenario 1)*

De eerste orde randvoorwaarden worden in detail toegelicht in paragraaf 3.3.1 van voorliggend rapport. Er wordt een onderscheid gemaakt in verschillende types randvoorwaarden, naargelang het het intredepunt, de onderboring of het uittredepunt betreft.

3.4.1.2.1 Intredepunt

- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden: intensieve strandzones vermijden
- Juridische randvoorwaarden: geen ligging in natuurreservaat

3.4.1.2.2 Onderboring

- Ruimtelijke randvoorwaarden: geen onderboring van bewoonde gebieden

3.4.1.2.3 Uittredepunt

- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden: Minimum 9 meter afstand tot gevoelige functies
- Juridische randvoorwaarden: geen ligging in beschermd duingebied of natuurreservaat

Op basis van de juridische eerste orde randvoorwaarden valt de locatie in Koksijde weg (zie Figuur 4 op p.32). Tussen de aanlandingslocatie en de achterliggende woongebieden is immers enkel duingebied gelegen. Dit duingebied wordt aangeduid als natuurreservaat. De aanleg van een werfzone, waarbij het duingebied genivelleerd moet worden over een oppervlakte van 150 m bij 50 m, is bijgevolg niet mogelijk.

3.4.1.3 Stap 3: Tweede orde randvoorwaarden

Figuur 8 *Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden Oostende/Bredene – zone ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario* 1)

Figuur 9 *Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden De Haan – zone ten westen van rotonde (scenario 1)*

Figuur 10 *Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden Zeebrugge – zone ten westen van westelijke havendam (scenario 1)*

Het toepassen van de tweede orde randvoorwaarden moet voor een verdere verfijning van de geselecteerde zones zorgen. Het betreft hier ook voornamelijk randvoorwaarden die ruimtelijk gevisualiseerd kunnen worden. Er wordt opnieuw een onderscheid gemaakt tussen randvoorwaarden voor het intredepunt, de onderboring en het uittredepunt.

Het is niet de bedoeling enkel die zones te weerhouden waarvoor geen uitsluiting op basis van tweede orde randvoorwaarden plaatsvindt (er blijken dan immers geen locaties mogelijk), wel worden de tweede orderandvoorwaarden mee aangewend om de mogelijke aanlandingsplaatsen te rangschikken naar haalbaarheid.

3.4.1.3.1 Intredepunt

- Technische randvoorwaarden:
  - Afwezigheid van golfbrekers of strandhoofden
  - Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen
- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden:
  - Minimum 200 meter afstand tot geluidsgevoelig functies
- Juridische randvoorwaarden:
  - Bij voorkeur geen ligging in Natura 2000-gebieden, VEN-gebieden, beschermd onroerend erfgoed en vastgestelde relicten van de landschapsatlas.

3.4.1.3.2 Onderboring

- Technische randvoorwaarden:
  - Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen

3.4.1.3.3 Uittredepunt

- Technische randvoorwaarden:
  - Afwezigheid fysische obstructies op het terrein
  - Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen

- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden:
    - Minimum 200 meter afstand tot geluidsgevoelig functies
- Juridische randvoorwaarden:
    - Bij voorkeur geen ligging in Natura 2000-gebieden, VEN-gebieden, beschermd onroerend erfgoed en vastgestelde relicten van de landschapsatlas.

3.4.1.4 Stap 4: Mogelijkheden landinwaarts > 5km zone

In deze stap wordt voor de, op basis van de eerste randvoorwaarden, geselecteerde locaties nagegaan in welke zones:

- Een tracé in open sleuf vanaf het uittredepunt kan vertrekken landinwaarts richting het hoogspanningsstation

Hiertoe wordt een aantal van de eerste en tweede rangordevoorwaarden gehanteerd zoals beschreven in par. 3.3:

- Afwezigheid van fysische obstructies
- Geen bewoonde of te bewonen gebieden, verblijfsrecreatie
- Afwezigheid van nutsleiding binnen een afstand van 5 m
- Aanwezigheid van lijninfrastructuur om het bundelingsprincipe toe te passen
- Vermijden van juridisch beschermde gebieden

3.4.1.5 Evaluatiefase

Figuur 11 *Aanlanding zeekabels – synthese: Oostende/Bredene – zone* ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario 1)

Figuur 13 *Aanlanding zeekabels – synthese: Zeebrugge – zone ten* westen van westelijke havendam (scenario 1)

Voor elk van de geselecteerde locaties die voldoen aan de oppervlaktedoelstelling voor het intredepunt, wordt een fiche opgemaakt die de locaties analyseert op vlak van eerste en tweede orde randvoorwaarden en de mogelijkheden inzake verbinding naar het achterland. De fiches zijn hieronder te vinden. Volgende kleurcodes worden gehanteerd voor de beoordeling van de randvoorwaarden:

	De locatie voldoet aan de randvoorwaarde.
	De locatie voldoet niet aan de randvoorwaarde, de te nemen (juridische, administratieve, fysieke) maatregelen worden als beperkt ingeschat en de impact is beperkt op het terrein.
	De locatie voldoet niet aan de randvoorwaarde, de te nemen (juridische, administratieve, fysieke) maatregelen worden als omvangrijk/complex/impacterend voor de omgeving ingeschat.
	De locatie komt op geen enkele manier tegemoet aan de randvoorwaarde.

Oostende – zone ten westen van Fort Napoleon (nummer 2 op Figuur 3)		
Gemeente	Oostende	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 5)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.500m	De zone is omgeven door dichte bebouwing over meer dan 1.500 meter. De duinengordel is hier maar 100 meter breed, er kan geboord worden tot in de wegenis/terreinen rondom de haven en dan verder in open sleuf. De kabels dienen vanaf de aanlanding opgesplitst te worden in 3 sets van 2 kabels om verder in open sleuf in wegenis tot aan de postlocatie te geraken.	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok indien geboord wordt tot aan de Koninklijke Baan en dan verder in open sleuf.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	De werfzone van het intredepunt is ingesloten tussen twee intensieve strandrecreatiezones. De afstand tussen beide zones is evenwel voldoende groot om de werfzone te kunnen realiseren.	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 8)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Strandhoofden aanwezig in de aanlandingszone, de afstand tussen de strandhoofden is echter voldoende groot om de werfzone te kunnen realiseren.	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Ok indien geboord wordt tot aan de Koninklijke Baan en dan verder in open sleuf.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Ontsluiting via Spinoladijk.	
	Ontsluiting kan gebeuren via de Koninklijke Baan.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid tot bundeling met aanwezige wegenis.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Het uittredepunt is gelegen in geluidsgevoelig gebied.	

Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Aanwezigheid van kleiplaatgronden	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist VEN-gebied 102 'De Middenkust' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De connectie met het achterland kan, parallel met de wegenis, in open sleuf en deels via gestuurde boring aangelegd worden doorheen woongebieden en havenzone		
Conclusie		
Op technisch vlak valt de aanlanding in deze zone vrij eenvoudig te realiseren. De aanlanding is echter in Habitatrichtlijngebied en VEN-gebied gelegen wat de situatie juridisch en administratief complex maakt.		

Bredene – zone ten oosten van Fort Napoleon (nummer 3 op Figuur 3)		
Gemeente	Bredene	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 5)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.500m	De zone is omgeven door dichte bebouwing over meer dan 1.500 meter. De duinengordel is hier maar 100 meter breed, er kan geboord worden tot in de wegenis/terreinen rondom de haven en dan verder in open sleuf. De kabels dienen vanaf de aanlanding opgesplitst te worden in 3 sets van 2 kabels om verder in open sleuf in wegenis tot aan de postlocatie te geraken.	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Onderboring van duinengordel, daarna verder in open sleuf.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 8)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Zone is ingesloten tussen havendam in het westen en strandhoofd in het oosten. Er is voldoende ruimte tussen beide constructies.	

Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Er is momenteel voldoende vrije ruimte vlak achter de duinengordel om het uittredepunt te realiseren. Dit gebied is echter in volle ontwikkeling naar woongebied (door herbestemming GRUP 'Afbakening regionaal stedelijk gebied Oostende'). De situatie kan dus snel veranderen.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Toegang via havenzone	
	Ontsluiting naar het strand via Spinoladijk	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid tot bundeling met aanwezige wegenis	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	De zone rondom de zijarm van het Visserijdok wordt momenteel ontwikkeld tot woongebied.	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist VEN-gebied 102 'De Middenkust' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist.	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De connectie met het achterland kan, parallel met de wegenis, in open sleuf en deels via gestuurde boring aangelegd worden doorheen woongebieden en havenzone.		
Conclusie		
Op technisch vlak valt de aanlanding in deze zone vrij eenvoudig te realiseren. Eventueel, afhankelijk van de stand van zaken van de ontwikkelingen, kunnen de werken voor de aanlanding afgestemd worden op de werken voor de ontwikkeling tot woongebied. De aanlanding is echter in Habitatrichtlijngebied en VEN-gebied gelegen wat de situatie juridisch en administratief complex maakt.		

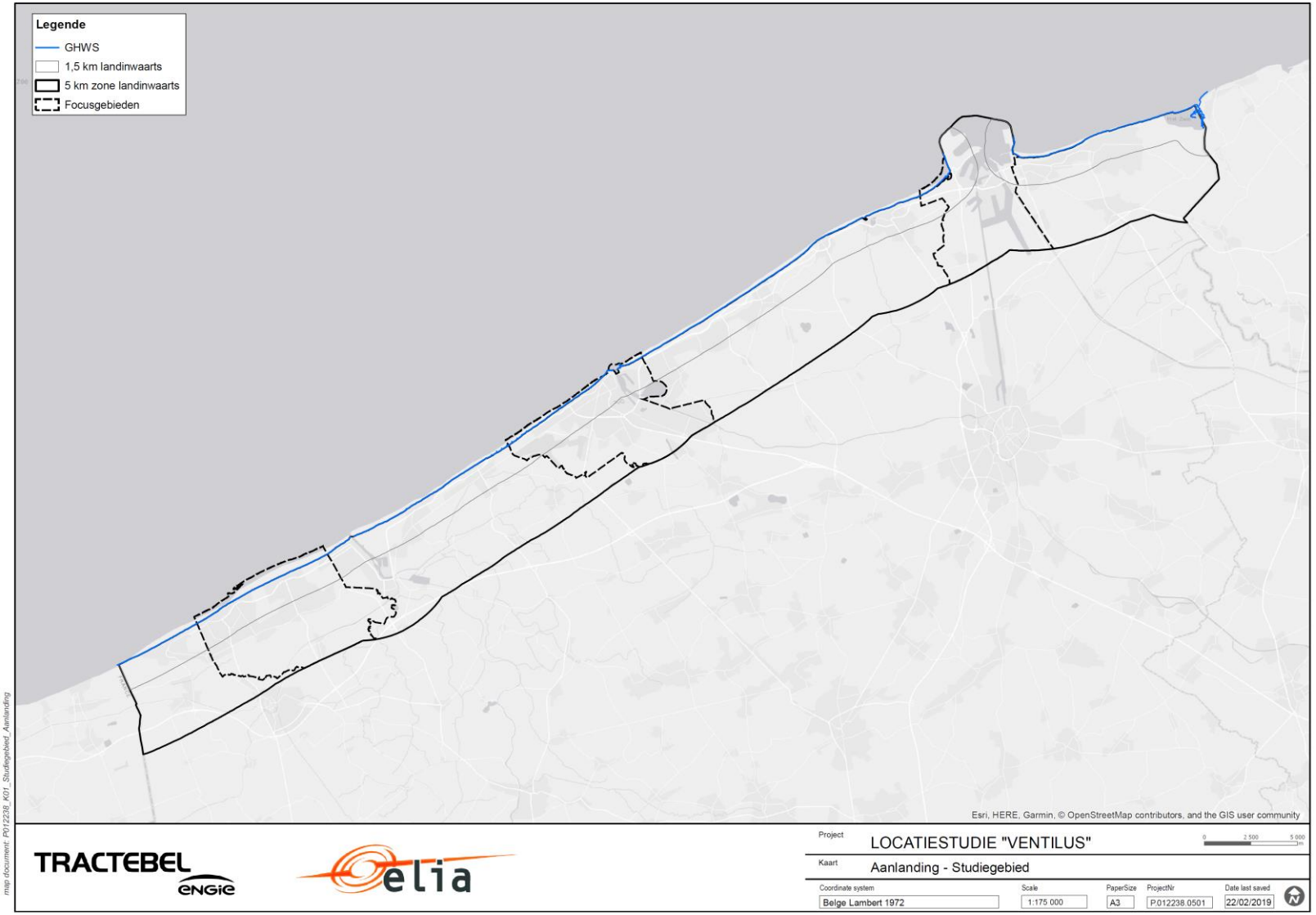
De Haan – zone ten westen van de rotonde (nummer 4 op Figuur 3)		
Gemeente	De Haan	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 6)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.500m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	De locatie wordt omringd door woongebied, de kabels dienen in open sleuf aangelegd te worden doorheen het woongebied. De bebouwing is dens waardoor er geen mogelijk is om tussen de bebouwing door te kunnen in open sleuf, realisatie parallel met de bestaande wegenis is bijgevolg de enige optie. Ten zuidoosten van de locatie is een woonzorgcentrum gelegen.	

Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ten noordoosten van de geselecteerde locatie is een intensieve strandrecreatiezone gelegen (met strandcabines).	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Er is voldoende ruimte beschikbaar binnen de 1 km-zone om een uittredepunt te realiseren dat niet in de buurt van stralingsgevoelige functies komt te liggen.	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 9)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Het uittredepunt dient gerealiseerd te worden tussen het strand en het woongebied. De enige mogelijke locatie bevindt zich dan in het duinengebied.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Intredepunt kan ontsloten worden via de Koninklijke Baan en de onverharde weg richting café Westhinder (op het strand), ten zuidwesten van de geselecteerde zone. Nadeel is dat op het strand nog ca. 300 meter dient overbrugd te worden tot aan de werfzone waardoor het ruimtebeslag op het strand groter is dan strikt noodzakelijk.	
	Indien de boring loodrecht op de hoogwaterlijn wordt uitgevoerd komt het uittredepunt in een open ruimte gebied te liggen. De ontsluiting kan gebeuren via de Ringlaan – Wancourstraat – Westhinderlaan. De Wancourstraat is een smalle woonstraat. Bovendien bevindt het uittredepunt zich in duingebied wat de ontsluiting voor zwaar verkeer vanaf de weg tot de werf zeer complex maakt.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid tot bundeling met aanwezige wegenis	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Zowel in- als uittredepunt overlapt met geluidsgevoelige functies.	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	VEN-gebied 102 ‘De Middenkust’ – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist Habitatrichtlijngebied BE2500001 ‘Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin’ – opmaak van passende beoordeling vereist.	

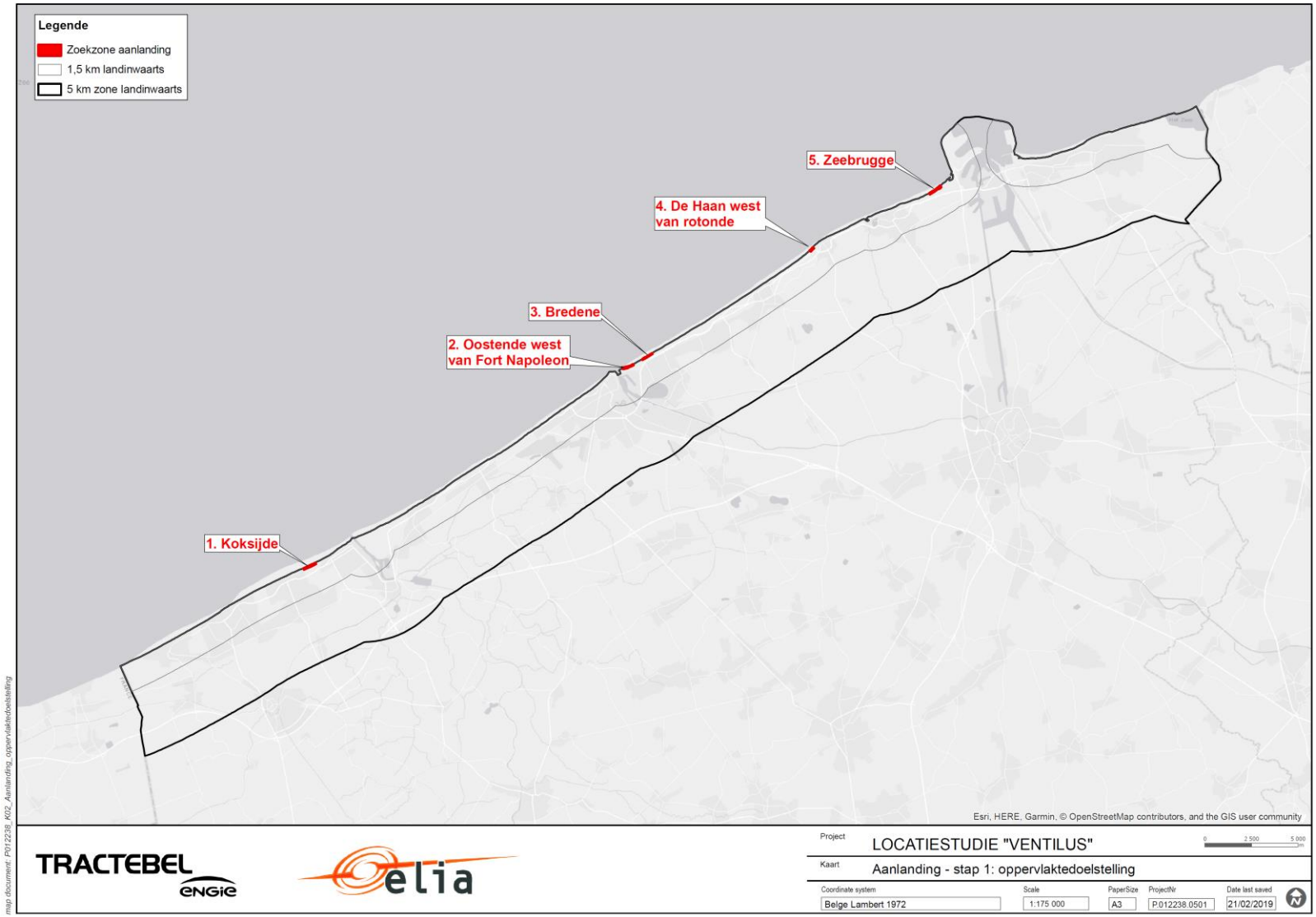
Mogelijkheden connectie met achterland
Het uittredepunt kan gerealiseerd worden in de open ruimte tussen de Koninklijke Baan en de Nieuwe Rijksweg. Daarna dient de aanleg te gebeuren in open sleuf parallel met de bestaande wegenis. De mogelijkheden zijn hier echter beperkt gezien de zone wordt omgeven door woongebied.
Conclusie
Een aanlanding in deze zone is zeer complex gezien de ligging van het uittredepunt in duinengebied (technisch complex) en de overlap van het uittredepunt met VEN-gebied en Habitatrichtlijngebied (juridisch complex). Bovendien wordt het duinengebied omringd door dichte bebouwing wat de connectie met het achterland sterk bemoeilijkt.

Zeebrugge: zone ten westen van de westelijke strekdam (nummer 5 op Figuur 3)		
Gemeente	Zeebrugge	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 7)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.500 m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ten noordoosten van de geselecteerde locatie is een intensieve strandrecreatiezone gelegen (met strandcabines). Deze zone wordt doorkruist om de werfzone te bereiken vanaf het Evenementenplateau.	
Uitsluiten van stralingsgevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 10)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Uittredepunt dient zorgvuldig gekozen te worden ten opzichte van het aanwezige oppervlaktewater en de aanwezige wegenis.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	

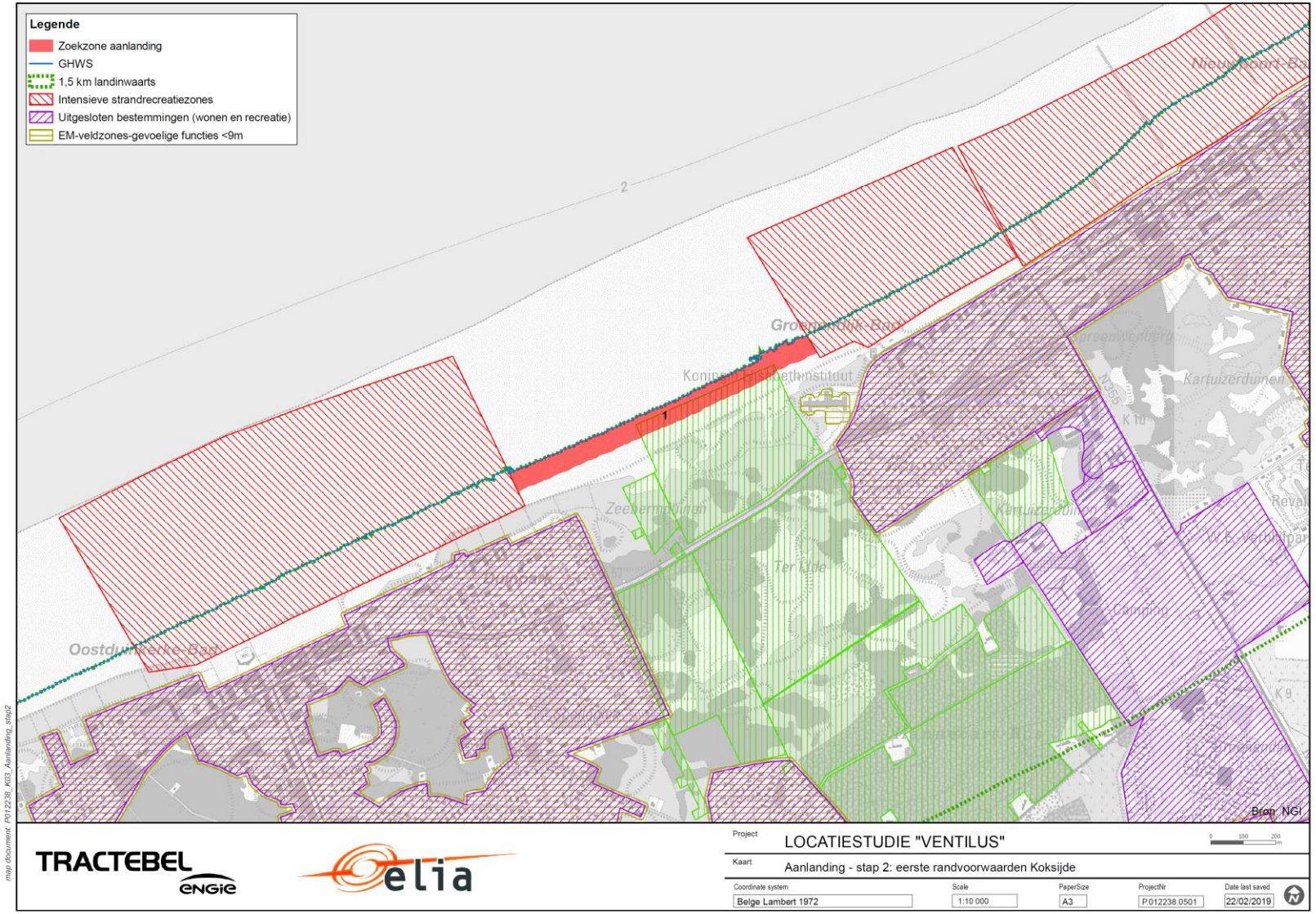
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	De werfzone van het intredepunt kan ontsloten worden via de Westerdam en de toegang tot het Evenementenplateau in Zeebrugge. De werfzone ligt vanaf de toegang tot het strand nog ca. 870 meter verder, dat betekent dat het ruimtebeslag wellicht groter zal zijn dan strikt noodzakelijk.	
	De werfzone van het uittredepunt kan ontsloten worden via de Zeebruggelaan.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid om de kabels aan te leggen parallel met de aanwezige lijninfrastructuren en de aanlanding te bundelen met de aanlanding van de andere windparken. In de nabije omgeving zijn reeds luchtlijnen gelegen.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Ok	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist. Vogelrichtlijngebied BE2500932 'Poldercomplex' – opmaak van passende beoordeling vereist. VEN-gebied 103 'De Fonteintjes en Oudemaarspolder' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist. Provinciaal domein Zeebos is gelegen in de polder. Een uittrede van de boring in dit domein is mogelijk moeilijk.	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De geselecteerde locatie is omgeven door open ruimte gebied. Een connectie met het achterland is gemakkelijk te realiseren. In de omgeving van het intredepunt is zowel Habitat-, en Vogelrichtlijngebied als VEN-gebied gelegen. Afhankelijk van de locatie kan dit ook voor het uittredepunt aan de orde zijn. De situatie kan hierdoor juridisch en administratief complex zijn.		
Conclusie		
Deze locatie lijkt de meest geschikte locatie voor de aanlanding.		



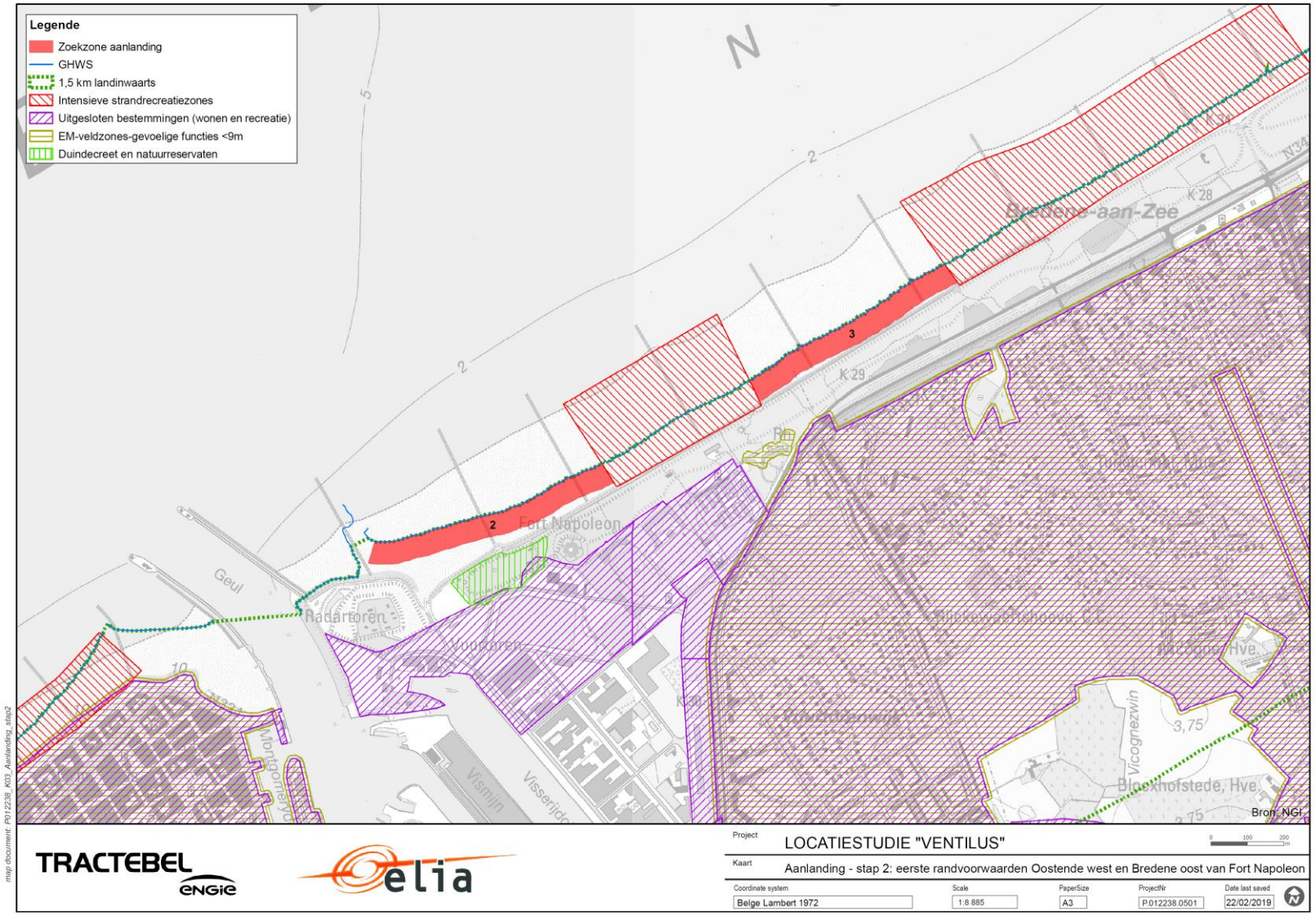
Figuur 2 Aanlanding zeekabels studiegebied (scenario 1 en 2)



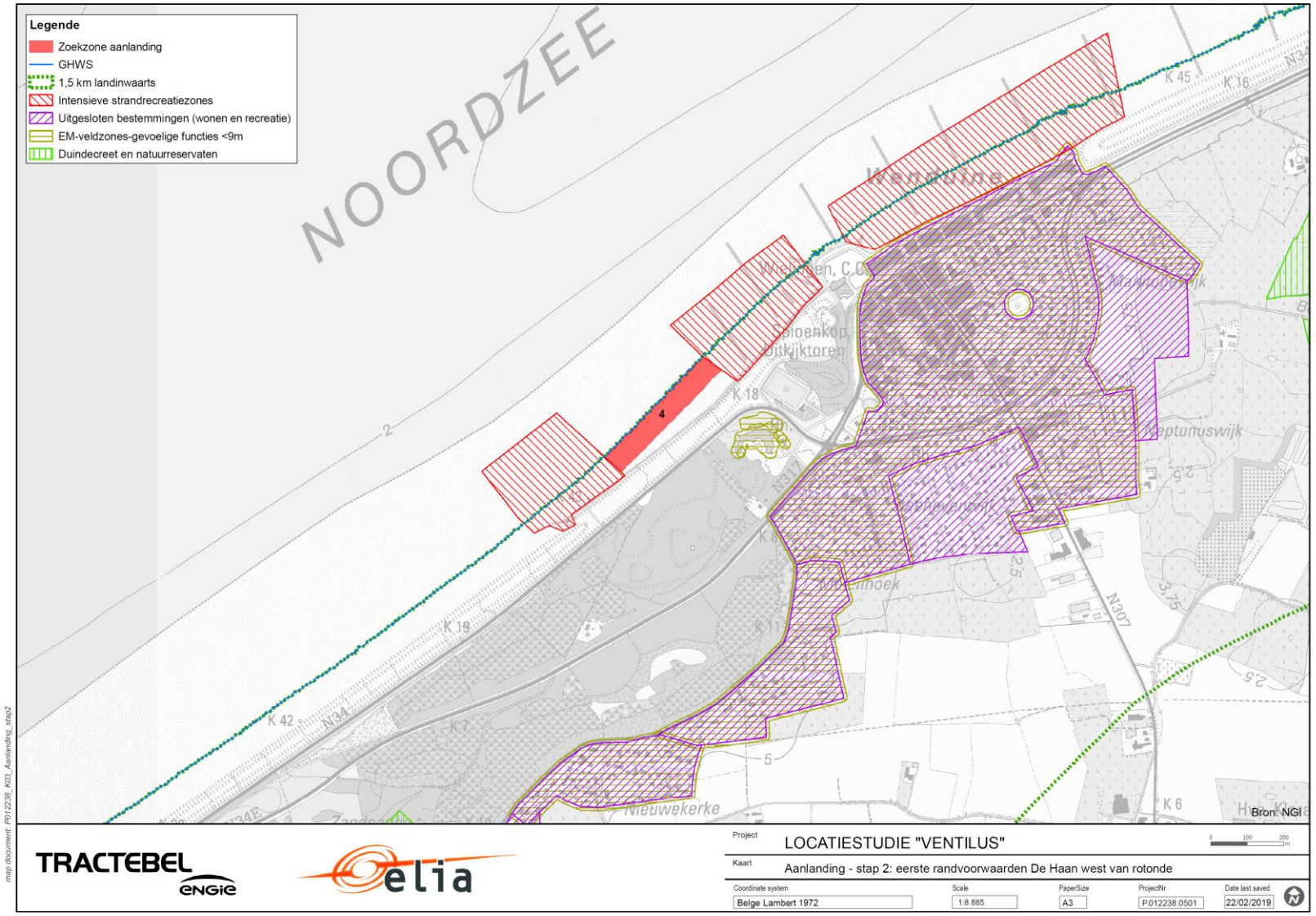
Figuur 3 Aanlanding zeekabels – stap 1: oppervlaktedoelstelling (scenario 1)



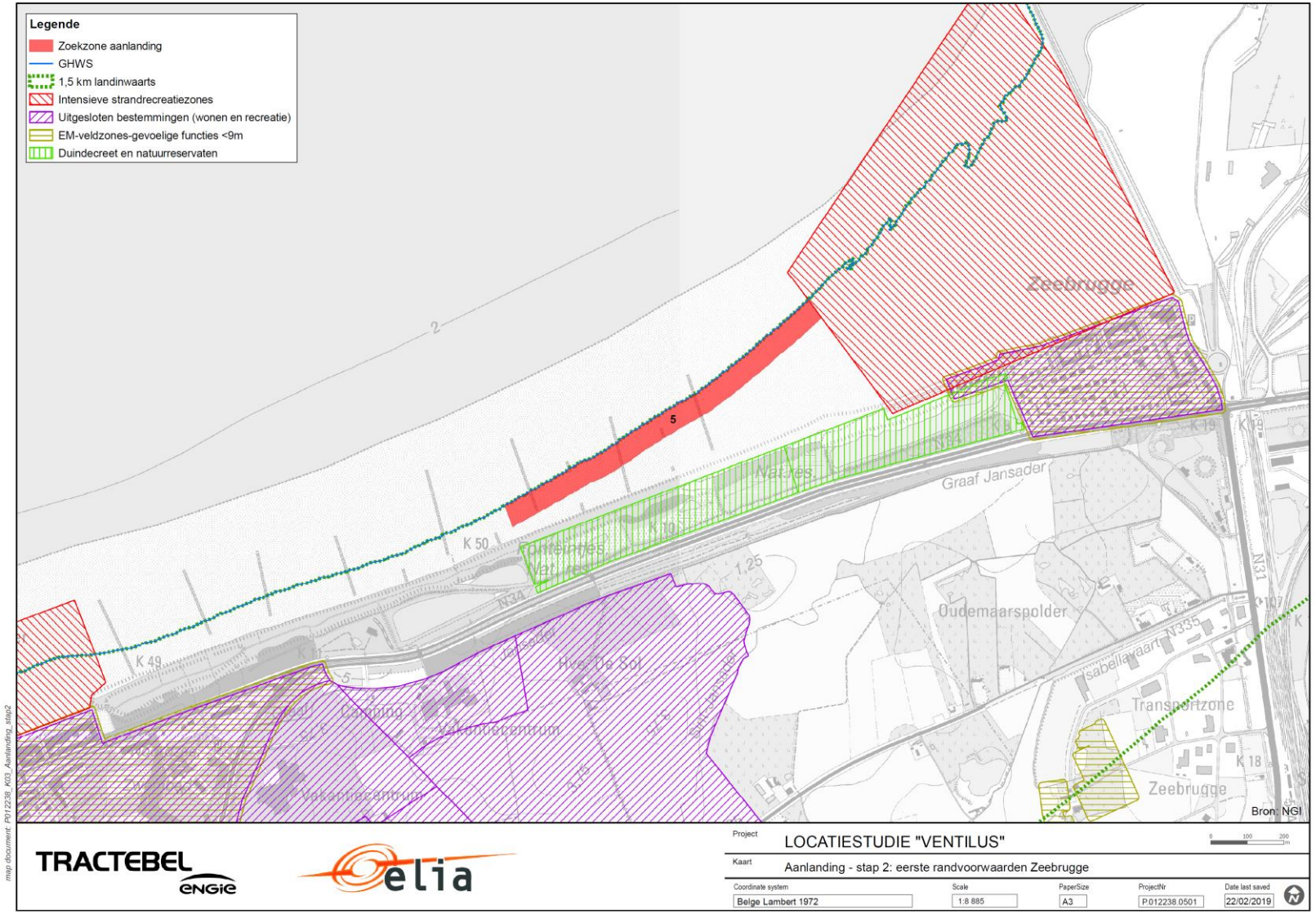
Figuur 4 Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Koksijde – zone ter hoogte van Hannecartbos (scenario 1)



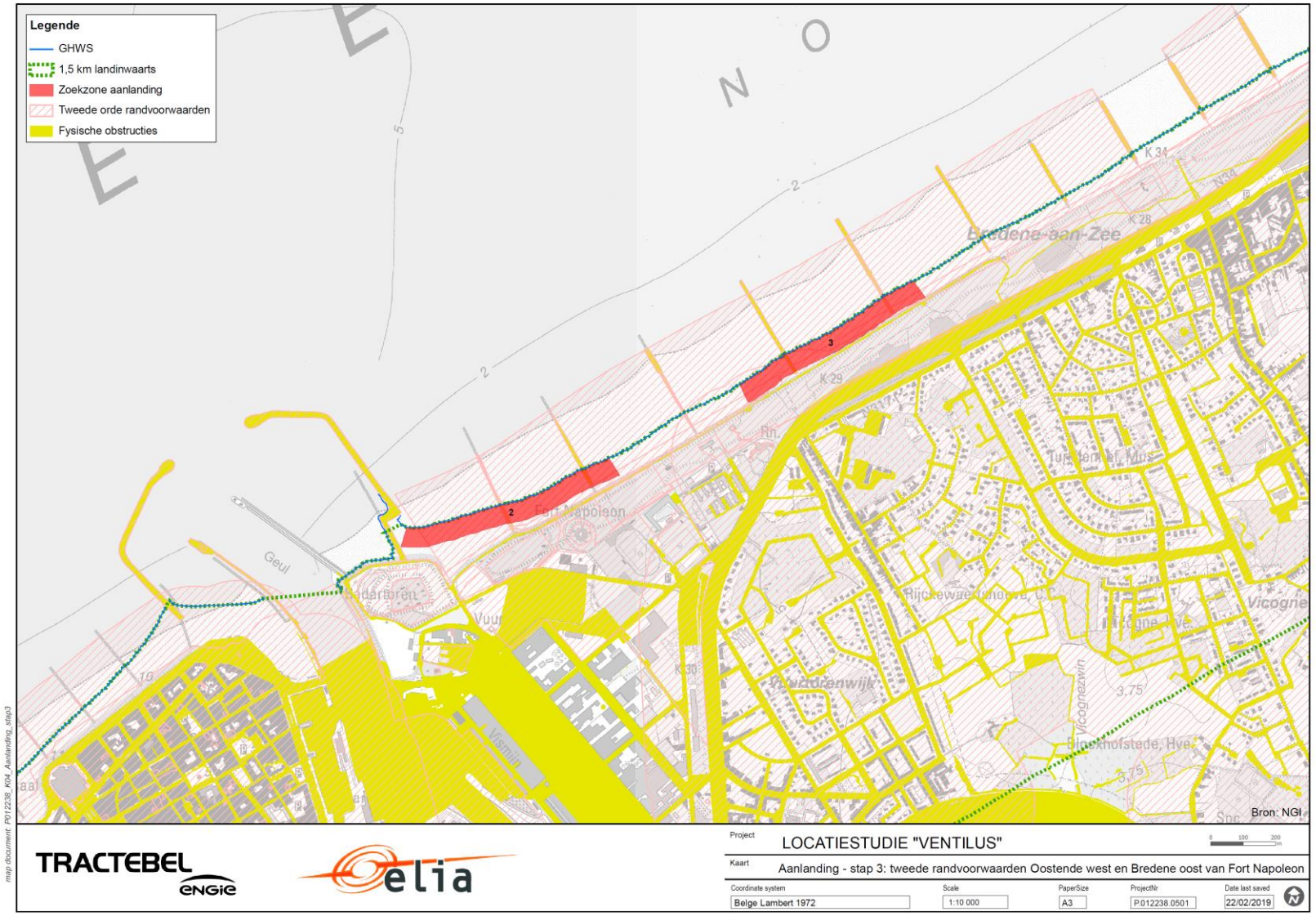
Figuur 5 Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Oostende/Bredene – zone ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario 1)



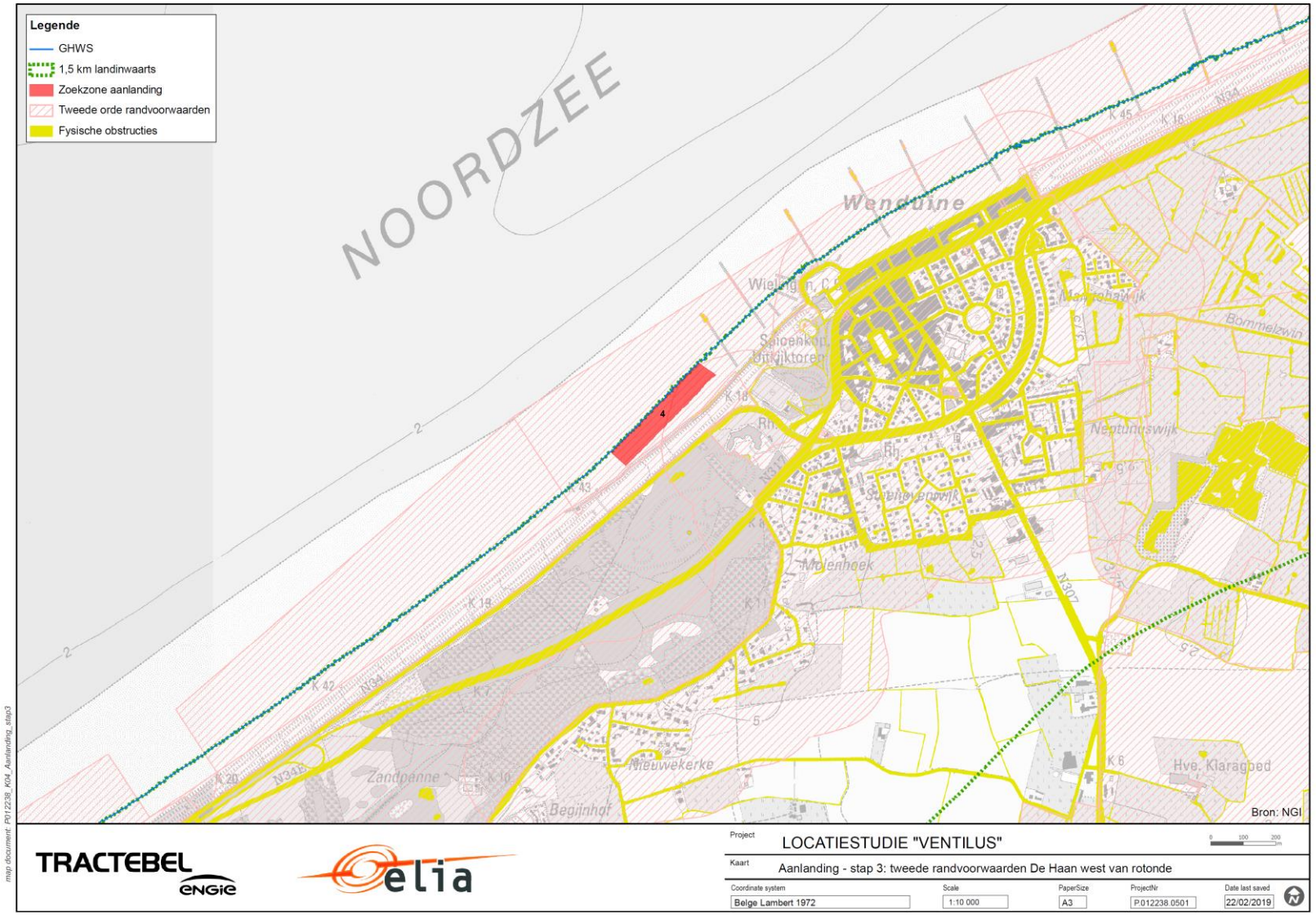
Figuur 6 Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden De Haan – zone ten westen van rotonde (scenario 1)



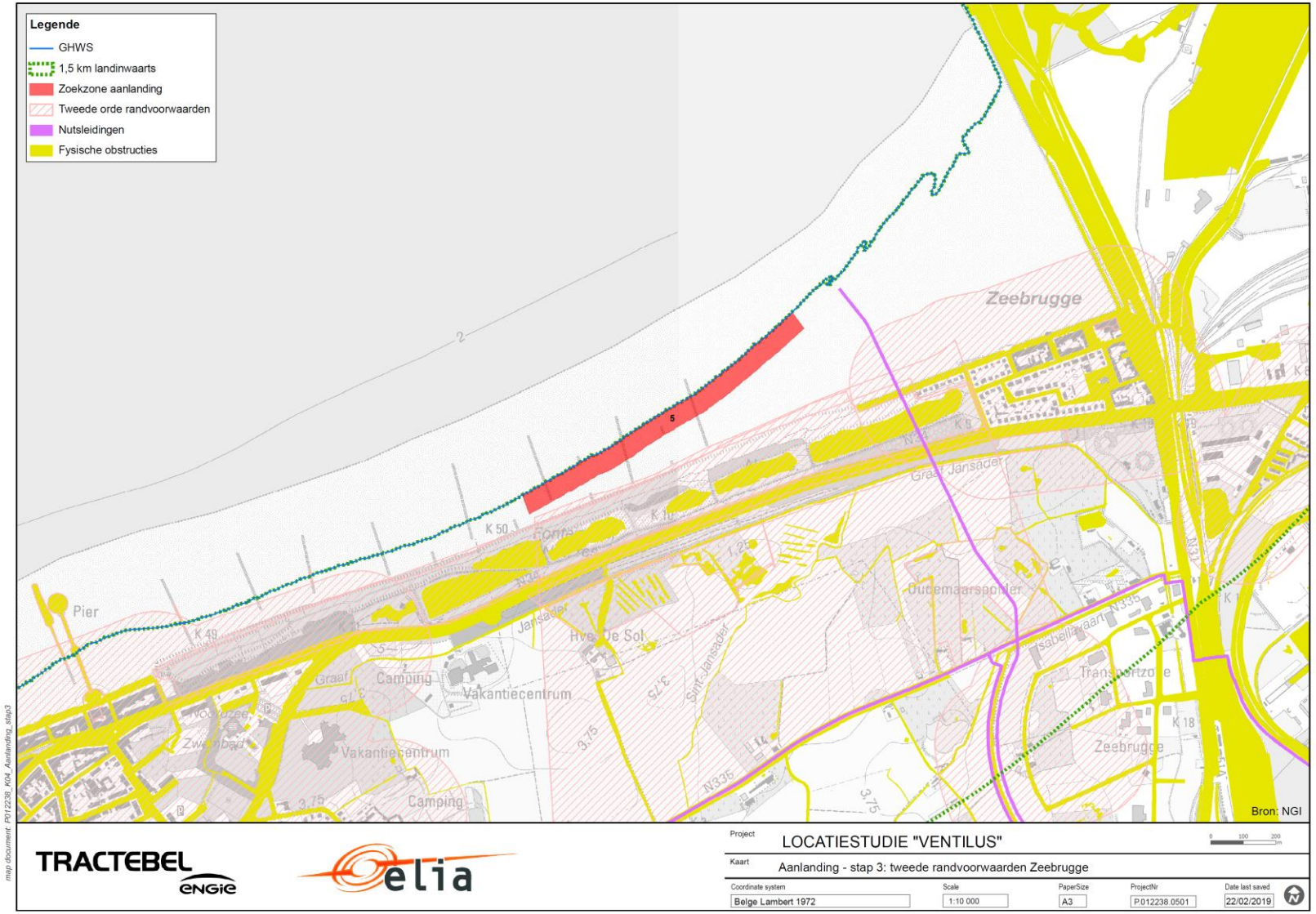
Figuur 7 Aanlanding zeekabels – stap 2: eerste orde randvoorwaarden Zeebrugge – zone ten westen van de westelijke strekdam (scenario 1)



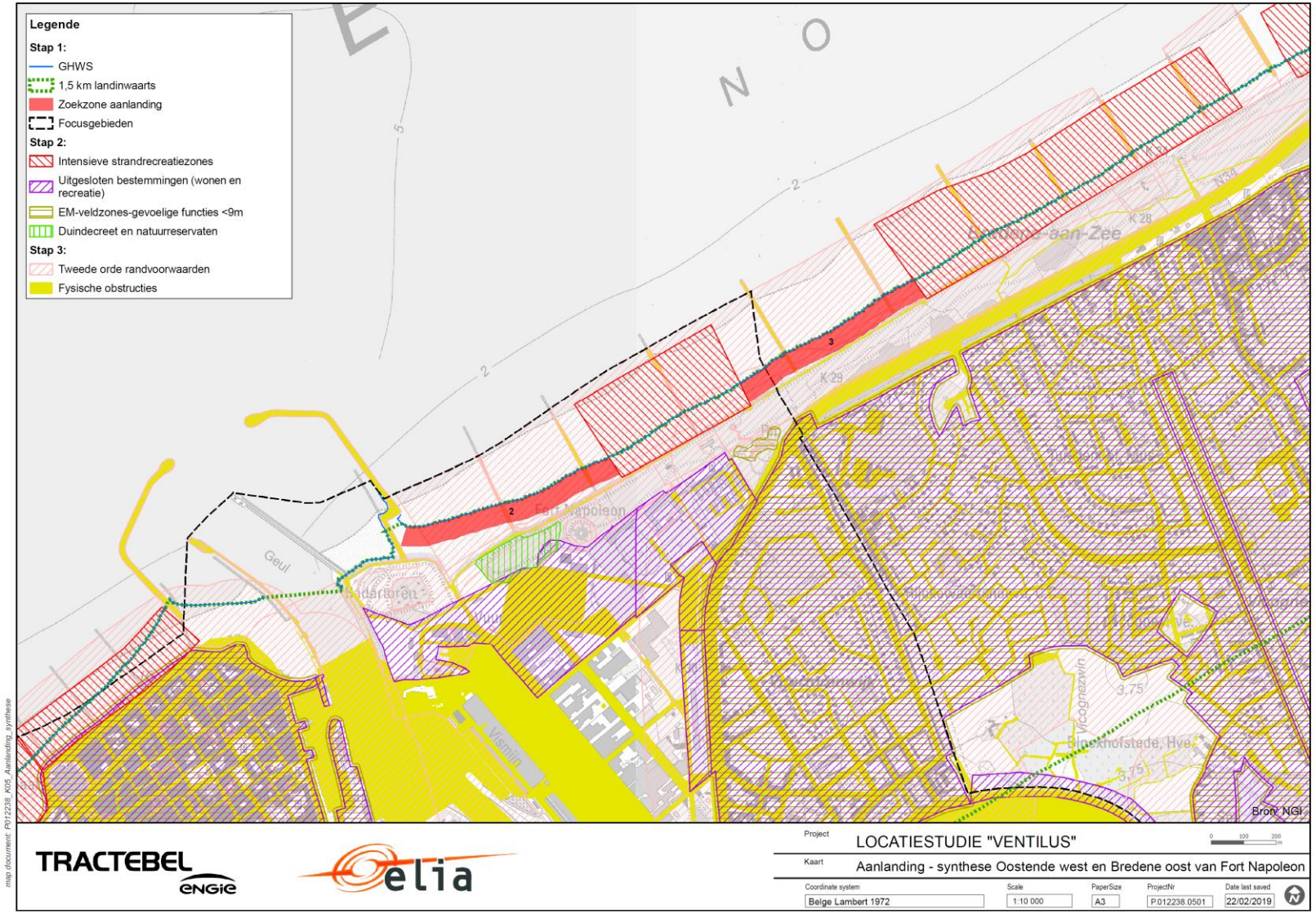
Figuur 8 Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden Oostende/Bredene – zone ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario 1)



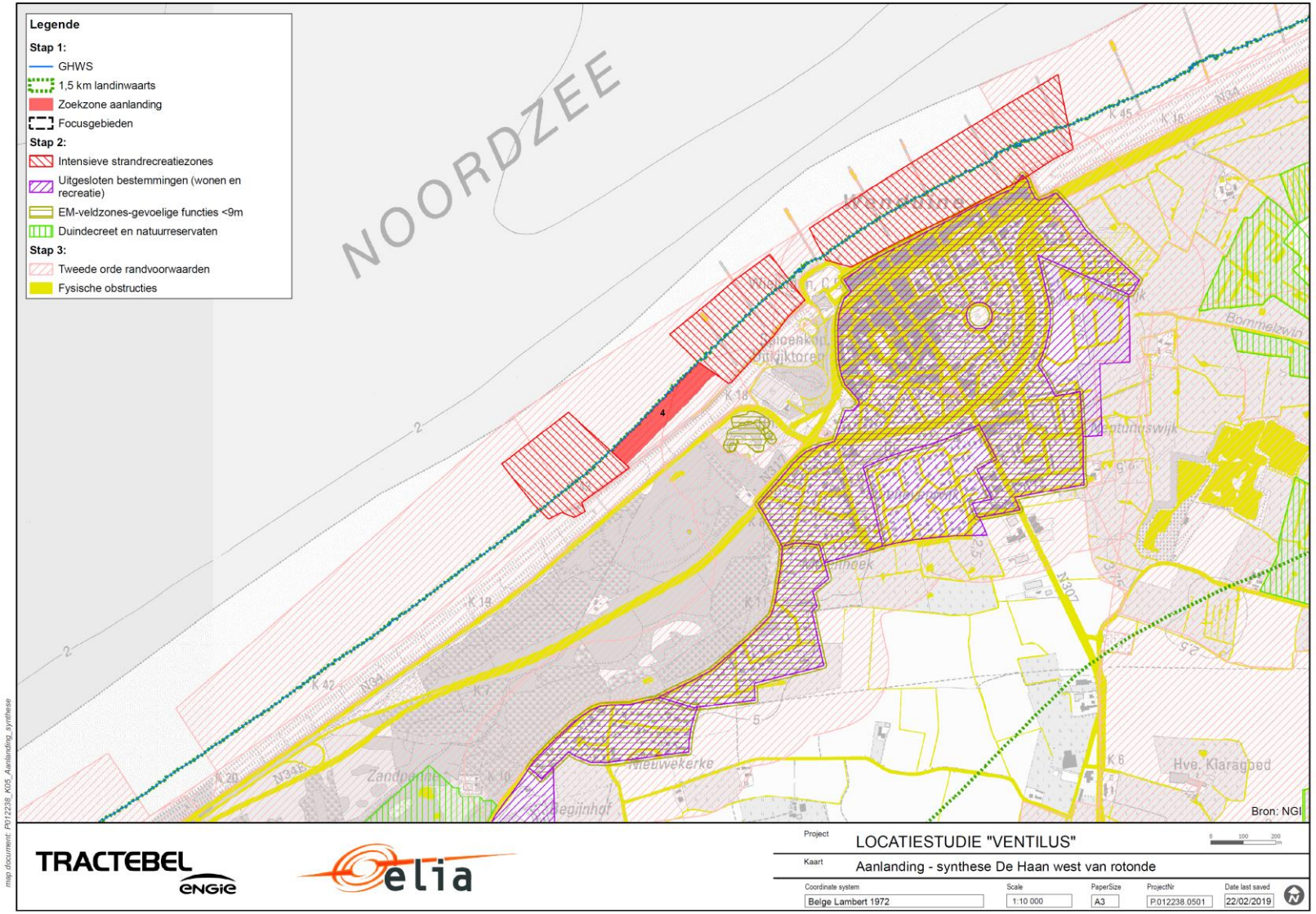
Figuur 9 Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden De Haan – zone ten westen van rotonde (scenario 1)



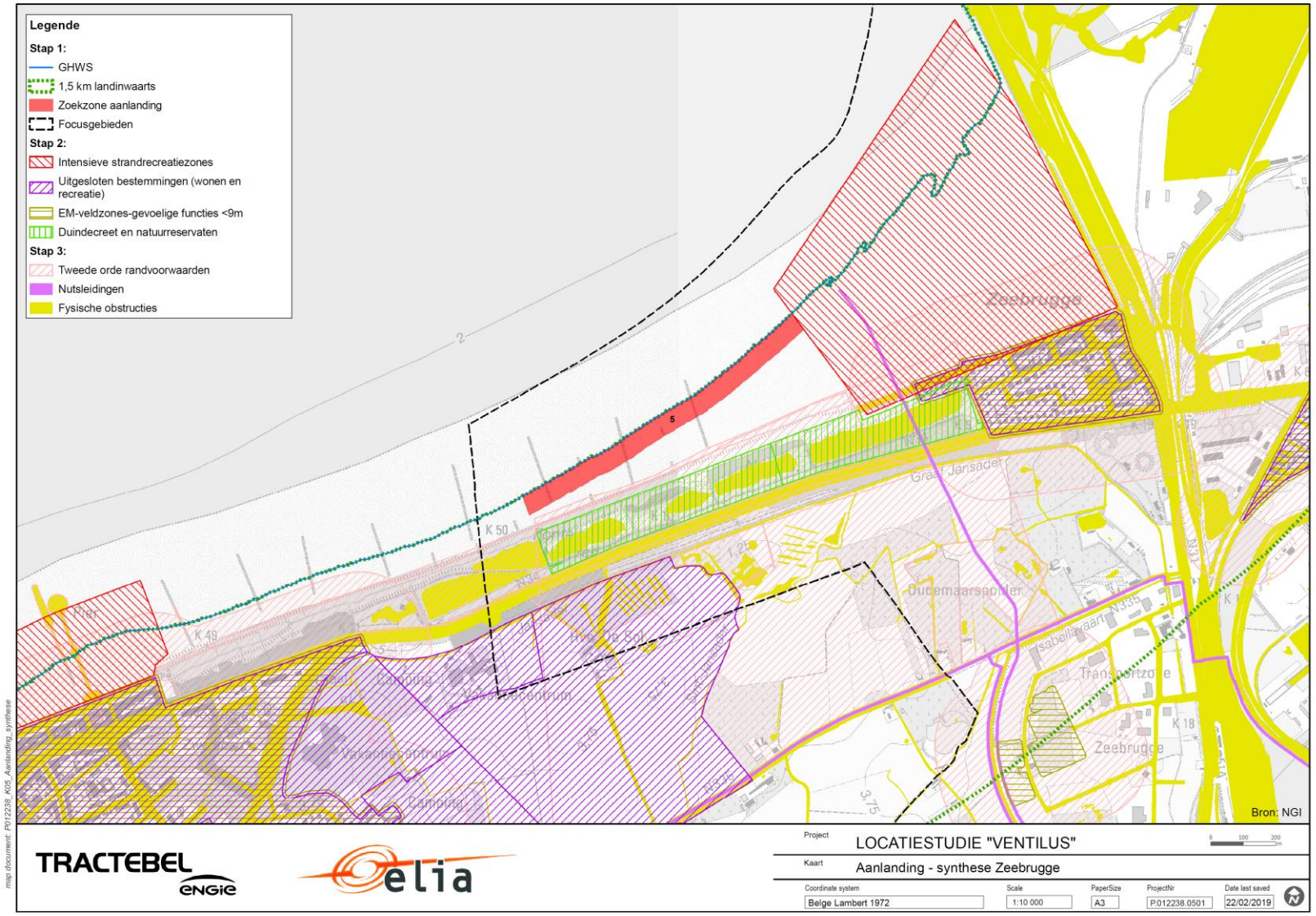
Figuur 10 Aanlanding zeekabels – stap 3: tweede orde randvoorwaarden Zeebrugge – zone ten westen van westelijke havendam (scenario 1)



Figuur 11 Aanlanding zeekabels – synthese: Oostende/Bredene – zone ten westen en ten oosten van Fort Napoleon (scenario 1)



Figuur 12 Aanlanding zeekabels – synthese: De Haan – zone ten westen van rotonde (scenario 1)



Figuur 13 Aanlanding zeekabels – synthese: Zeebrugge – zone ten westen van westelijke havendam (scenario 1)

3.4.2 Scenario 2: mofput in de polders

3.4.2.1 Stap 1: Eerste orde randvoorwaarden

Figuur 15 *Aanlanding zeekabels – stap 1: selectie eerste orde randvoorwaarden (scenario* 2)

Figuur 16 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Panne (scenario 2)*

Figuur 17 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Koksijde – Doornpanne (scenario 2)*

Figuur 18 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Koksijde - Hannecartbos (scenario 2)*

Figuur 19 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Nieuwpoort (scenario 2)*

Figuur 20 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Oostende ten westen van Fort Napoleon (scenario 2)*

Figuur 21 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – Vosseslag (scenario 2)*

Figuur 22 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – Zwarte Kiezel (scenario 2)*

Figuur 23 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – west van rotonde (scenario 2)*

Figuur 24 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Wenduine – oost van rotonde (*scenario 2)

Figuur 25 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Zeebrugge (scenario 2)*

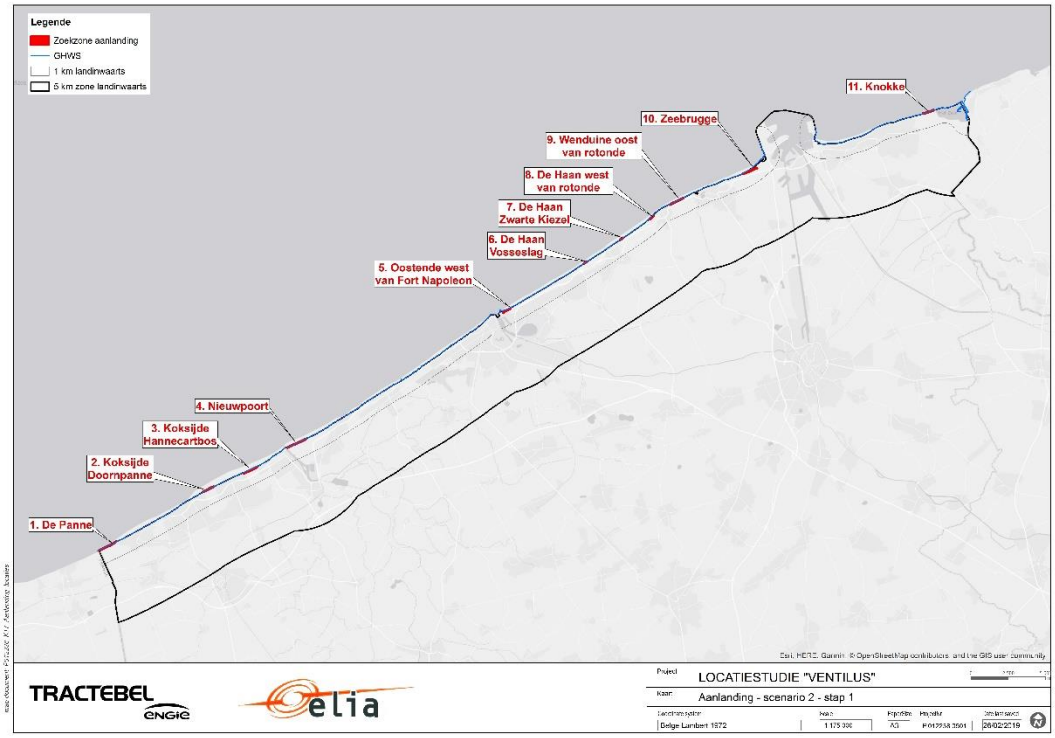
Figuur 26 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Knokke (scenario 2)*

In eerste instantie wordt gezocht naar een locatie op het strand die voldoet aan de lengtedoellstellingen (250 m voor scenario 2) en de breedte doelstellingen (60m, niet per se boven de hoogwaterlijn gelegen) waar de aanlanding van de zeekabel kan gebeuren, in combinatie met de mogelijkheid om een rechte onderboring (in bovenaanzicht) te realiseren, zonder bewoonde gebieden te onderboren. Elf locaties voldoen hieraan:

1. De Panne: zone ter hoogte van De Westhoek
2. Koksijde: zone ter hoogte van Doornpanne
3. Koksijde: zone ter hoogte van Hannecartbos (= nr 1 van scenario 1)
4. Nieuwpoort: zone ter hoogte van Militair Kwartier Lombardsijde
5. Oostende: zone ten westen van Fort Napoleon (= nr 2 van scenario 1)

6. De Haan: zone ter hoogte van Vosseslag
7. De Haan: zone ter hoogte van Zwarte Kiezel
8. De Haan: zone ten westen van rotonde (= nr 4 van scenario 1)
9. Wenduine: zone ten oosten van rotonde
10. Zeebrugge: zone ten westen van de westelijke strekdam (= nr 5 van scenario 1)
11. Knokke: zone ten westen van het Zwin

De eerste orde randvoorwaarden worden in detail toegelicht in paragraaf 3.3.1 van voorliggend rapport. Er wordt een onderscheid gemaakt in verschillende types randvoorwaarden, naargelang het het intredepunt, de onderboring of het uittredepunt betreft.



Figuur 14 Overzicht locaties scenario 2

3.4.2.1.1 Intredepunt

- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden: intensieve strandzones vermijden
- Juridische randvoorwaarden: geen ligging in natuurreservaat

3.4.2.1.2 Onderboring

- Ruimtelijke randvoorwaarden: geen onderboring van bewoonde gebieden

3.4.2.1.3 Uittredepunt

- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden: minimum 9 meter afstand tot gevoelige functies
- Juridische randvoorwaarden: geen ligging in beschermd duingebied of natuurreservaat

Op basis van de juridische eerste orde randvoorwaarden vallen de locaties in De Panne, Koksijde (Hannecartbos), Nieuwpoort en Knokke weg. Tussen de aanlandingslocatie en de 1 km-grens waarbinnen gezocht moet worden naar een locatie voor de realisatie van de werfzone voor het uittredepunt is enkel duingebied gelegen. Dit duingebied wordt op deze locaties aangeduid als Vlaams natuurreservaat. Nivelleringswerken voor de realisatie van een werfzone zijn in deze gebieden uitgesloten.

3.4.2.2 Stap 2: Tweede orde randvoorwaarden

Figuur 27 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Koksijde - Doornpanne (scenario 2)

Figuur 28 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Oostende ten westen van Fort Napoleon (scenario 2)

Figuur 29 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – Vosseslag (scenario 2)

Figuur 30 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – Zwarte Kiezel (scenario 2)

Figuur 31 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – west van rotonde (scenario 2)

Figuur 32 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Wenduine – oost van rotonde(scenario 2)

Figuur 33 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Zeebrugge (scenario 2)

Het toepassen van de tweede orde randvoorwaarden moet voor een verdere verfijning van de geselecteerde zones zorgen. Het betreft hier ook voornamelijk randvoorwaarden die ruimtelijk gevisualiseerd kunnen worden. Er wordt opnieuw een onderscheid gemaakt tussen randvoorwaarden voor het intredepunt, de onderboring en het uittredepunt.

Het is niet de bedoeling enkel die zones te weerhouden waarvoor geen uitsluiting op basis van tweede orde randvoorwaarden plaatsvindt, wel worden de tweede orderandvoorwaarden mee aangewend om de mogelijke aanlandingsplaatsen te rangschikken naar haalbaarheid.

3.4.2.2.1 Intredepunt

- Technische randvoorwaarden:
  - Afwezigheid van golfbrekers of strandhoofden
  - Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen
- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden:
  - Minimum 200 meter afstand tot geluidsgevoelig functies
- Juridische randvoorwaarden:
  - Bij voorkeur geen ligging in Natura 2000-gebieden, VEN-gebieden, natuurreservaten, beschermd onroerend erfgoed, vastgestelde relicten van de landschapsatlas, gebieden die vallen onder het Duindecreet

3.4.2.2.2 Onderboring

- Technische randvoorwaarden:

- Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen

3.4.2.2.3 Uittredepunt

- Technische randvoorwaarden:
  - Afwezigheid fysische obstructies op het terrein
  - Minimum 5 meter afstand ten opzichte van andere nutsleidingen
- Maatschappelijke/ milieukundige randvoorwaarden:
  - Minimum 200 meter afstand tot geluidsgevoelig functies
- Juridische randvoorwaarden:
  - Bij voorkeur geen ligging in Natura 2000-gebieden, VEN-gebieden, beschermd onroerend erfgoed en vastgestelde relicten van de landschapsatlas

3.4.2.3 Evaluatiefase

Voor elk van de geselecteerde locaties die enerzijds voldoen aan de eerste orde randvoorwaarden wordt een fiche opgemaakt die de locaties analyseert op vlak van eerste en tweede orde randvoorwaarden en de mogelijkheden inzake verbinding naar het achterland. De fiches zijn hieronder te vinden. Volgende kleurcodes worden gehanteerd voor de beoordeling van de randvoorwaarden:

	De locatie voldoet aan de randvoorwaarde.
	De locatie voldoet niet aan de randvoorwaarde, de te nemen (juridische, administratieve, fysieke) maatregelen worden als beperkt ingeschat en de impact is beperkt op het terrein.
	De locatie voldoet niet aan de randvoorwaarde, de te nemen (juridische, administratieve, fysieke) maatregelen worden als omvangrijk/complex/impacterend voor de omgeving ingeschat.
	De locatie komt op geen enkele manier tegemoet aan de randvoorwaarde.

Koksijde – zone ter hoogte van Doornpanne (nummer 2 op Figuur 15)		
Gemeente	Koksijde	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 17)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ten noorden, en in beperkte mate ook ten zuiden, van de Koninklijke Baan is een Vlaams natuurreservaat gelegen. Het uittredepunt dient zorgvuldige gekozen te worden zodat het niet in dit natuurreservaat is gelegen.	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 27)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Het uittredepunt dient gerealiseerd te worden tussen het strand en het woongebied. De enige mogelijke locatie bevindt zich dan in het duinengebied.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Intredepunt kan ontsloten worden via de Gilles Scottlaan. Hierbij dient wel een intensieve strandrecreatiezone doorkruist te worden. Bovendien is de Gilles Scottlaan een smalle straat en bijgevolg niet erg geschikt voor zwaar transport.	
	Uittredepunt kan ontsloten worden via de Doornpannestraat en de Koninklijke Baan. De Doornpannestraat is een smalle tweerichtingsstraat en bijgevolg niet erg geschikt voor zwaar transport. Bovendien bevindt het uittredepunt zich in duingebied wat de ontsluiting voor zwaar verkeer vanaf de weg tot de werf zeer complex maakt.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Geen mogelijkheid om de kabels aan te leggen met bestaande lijninfrastructuren.	

Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Ok	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist Vogelrichtlijngebied BE2500121 'Westkust' – opmaak van passende beoordeling vereist VEN-gebied 101 'De Westkust' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De duinengordel is op deze locatie breder dan 1 km waardoor het uittredepunt in duinengebied komt te liggen. De connectie met het achterland is moeilijk gezien de aanleg van kabels in open sleuf, gezien het reliëf, geen evidentie is. Het duinengebied wordt bovendien omringd door dicht woongebied.		
Conclusie		
Een aanlanding in deze zone is zeer complex gezien de ligging van het uittredepunt in duinengebied (technisch complex) en de overlap van het uittredepunt met VEN-gebied en Vogel- en Habitatrichtlijngebied (juridisch complex). Bovendien wordt het duinengebied omringd door dichte bebouwing wat de connectie met het achterland sterk bemoeilijkt.		

Oostende – zone ten westen van Fort Napoleon (nummer 5 op Figuur 15)		
Gemeente	Oostende	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 20)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	De zone is omgeven door dichte bebouwing over meer dan 1.000 meter. De duinengordel is hier maar 100 meter breed, er kan geboord worden tot in de wegenis/terreinen rondom de haven en dan verder in open sleuf. De kabels dienen vanaf de aanlanding opgesplitst te worden in 3 sets van 2 kabels om verder in open sleuf in wegenis tot aan de postlocatie te geraken.	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Onderboring van duinengordel, daarna verder in open sleuf.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch	Ok	

beschermd duingebied of natuurreservaat.		
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 28)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Zone is ingesloten tussen havendam in het westen en strandhoofd in het oosten. Er is voldoende ruimte tussen beide constructies.	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Er is momenteel voldoende vrije ruimte vlak achter de duinengordel om het uittredepunt te realiseren. Dit gebied is echter in volle ontwikkeling naar woongebied (door herbestemming GRUP 'Afbakening regionaal stedelijk gebied Oostende'). De situatie kan dus snel veranderen.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Toegang via havenzone.	
	De werfzone op het strand is toegankelijk via de Spinoladijk.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid tot bundeling met aanwezige wegenis.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	De zone rondom de zijarm van het Visserijdok wordt momenteel ontwikkeld tot woongebied.	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist. VEN-gebied 102 'De Middenkust' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist.	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De connectie met het achterland kan, parallel met de wegenis, in open sleuf en deels via gestuurde boring aangelegd worden doorheen woongebieden en havenzone.		
Conclusie		
Op technisch vlak valt de aanlanding in deze zone vrij eenvoudig te realiseren. Eventueel, afhankelijk van de stand van zaken van de ontwikkelingen, kunnen de werken voor de aanlanding afgestemd worden op de werken voor de ontwikkeling tot woongebied. De aanlanding is echter in Habitatrichtlijngebied en VEN-gebied gelegen wat de situatie juridisch en administratief complex maakt.		

De Haan – zone ter hoogte van Vosseslag (nummer 6 op Figuur 15)		
Gemeente	De Haan	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 21)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Onderboring van het golfterrein is noodzakelijk.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 29)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Ok	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	De werfzone op het strand is toegankelijk via het verlengde van de Vosseslag. Dit is een pad dat enkel toegankelijk is voor voetgangers en fietsers en niet geschikt is voor zwaar transport. Via deze weg dient een intensieve strandrecreatiezone doorkruist te worden.	
	Ontsluiting mogelijk via de Driftweg, een relatief smalle tweerichtingsstraat.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid om de kabels aan te leggen parallel met de aanwezige wegenis.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Uittredepunt overlapt met geluidsgevoelige functies.	

Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Aanwezigheid van kleiplaatgronden	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	VEN-gebied 102 ‘De Middenkust’ – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist.	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De geselecteerde locatie is omgeven door open ruimte gebied. Een connectie met het achterland is gemakkelijk te realiseren.		
Conclusie		
Op technisch vlak valt de aanlanding in deze zone vrij eenvoudig te realiseren. De aanlanding is echter in VEN-gebied gelegen, wat de situatie juridisch en administratief complex zou kunnen maken. De toegang tot het strand voor werfverkeer is niet vanzelfsprekend.		

De Haan – zone ter hoogte van Zwarte Kiezel (nummer 7 op Figuur 15)		
Gemeente	De Haan	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 22)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 30)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	

Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Uittredepunt kan gerealiseerd worden ten zuiden van de Wenduinesteenweg.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Werfzone op het strand is toegankelijk via de zandweg ter hoogte van Chalet De Westhinder. Via deze weg dient een intensieve strandrecreatiezone doorkruist te worden.	
	Ontsluiting is mogelijk via de Wenduinesteenweg, een relatief smalle tweerichtingsstraat.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid om de kabels aan te leggen parallel met de aanwezige wegenis.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Uittredepunt overlapt met geluidsgevoelige functies.	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist VEN-gebied 102 'De Middenkust' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist. Beschermd duingebied – opmaak omgevingsvergunningsaanvraag inclusief bijlage V1 vereist	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De geselecteerde locatie is omgeven door open ruimte gebied. Een connectie met het achterland is gemakkelijk te realiseren.		
Conclusie		
Op technisch vlak valt de aanlanding in deze zone vrij eenvoudig te realiseren. De aanlanding is echter in VEN-gebied, Habitatrichtlijngebied en beschermd duingebied gelegen, wat de situatie juridisch en administratief complex zou kunnen maken.		

De Haan – zone ten westen van de rotonde (nummer 8 op Figuur 15)		
Gemeente	De Haan	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 23)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.500m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	De locatie wordt omringd door woongebied, de kabels dienen in open sleuf aangelegd te worden doorheen het woongebied. De bebouwing is dens waardoor er geen mogelijk is om tussen de bebouwing door te kunnen in open sleuf, realisatie parallel met de bestaande wegenis is bijgevolg de enige optie. Ten zuidoosten van de locatie is een woonzorgcentrum gelegen.	

Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ten noordoosten van de geselecteerde locatie is een intensieve strandrecreatiezone gelegen (met strandcabines).	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Er is voldoende ruimte beschikbaar binnen de 1 km-zone om een uittredepunt te realiseren dat niet in de buurt van stralingsgevoelige functies komt te liggen.	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 31)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Het uittredepunt dient gerealiseerd te worden tussen het strand en het woongebied. De enige mogelijke locatie bevindt zich dan in het duinengebied.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	Intredepunt kan ontsloten worden via de Koninklijke Baan en de onverharde weg richting café Westhinder (op het strand), ten zuidwesten van de geselecteerde zone. Nadeel is dat op het strand nog ca. 300 meter dient overbrugd te worden tot aan de werfzone waardoor het ruimtebeslag op het strand groter is dan strikt noodzakelijk.	
	Indien de boring loodrecht op de hoogwaterlijn wordt uitgevoerd komt het uittredepunt in een open ruimte gebied te liggen. De ontsluiting kan gebeuren via de Ringlaan – Wancourstraat – Westhinderlaan. De Wancourstraat is een smalle woonstraat. Bovendien bevindt het uittredepunt zich in duingebied wat de ontsluiting voor zwaar verkeer vanaf de weg tot de werf zeer complex maakt.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid tot bundeling met aanwezige wegenis	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Zowel in- als uittredepunt overlapt met geluidsgevoelige functies.	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Ok	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	VEN-gebied 102 ‘De Middenkust’ – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist Habitatrichtlijngebied BE2500001 ‘Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin’ – opmaak van passende beoordeling vereist.	

Mogelijkheden connectie met achterland
Het uittredepunt kan gerealiseerd worden in de open ruimte tussen de Koninklijke Baan en de Nieuwe Rijksweg. Daarna dient de aanleg te gebeuren in open sleuf parallel met de bestaande wegenis. De mogelijkheden zijn hier echter beperkt gezien de zone wordt omgeven door woongebied.
Conclusie
Een aanlanding in deze zone is zeer complex gezien de ligging van het uittredepunt in duinengebied (technisch complex) en de overlap van het uittredepunt met VEN-gebied en Habitatrichtlijngebied (juridisch complex). Bovendien wordt het duinengebied omringd door dichte bebouwing wat de connectie met het achterland sterk bemoeilijkt.

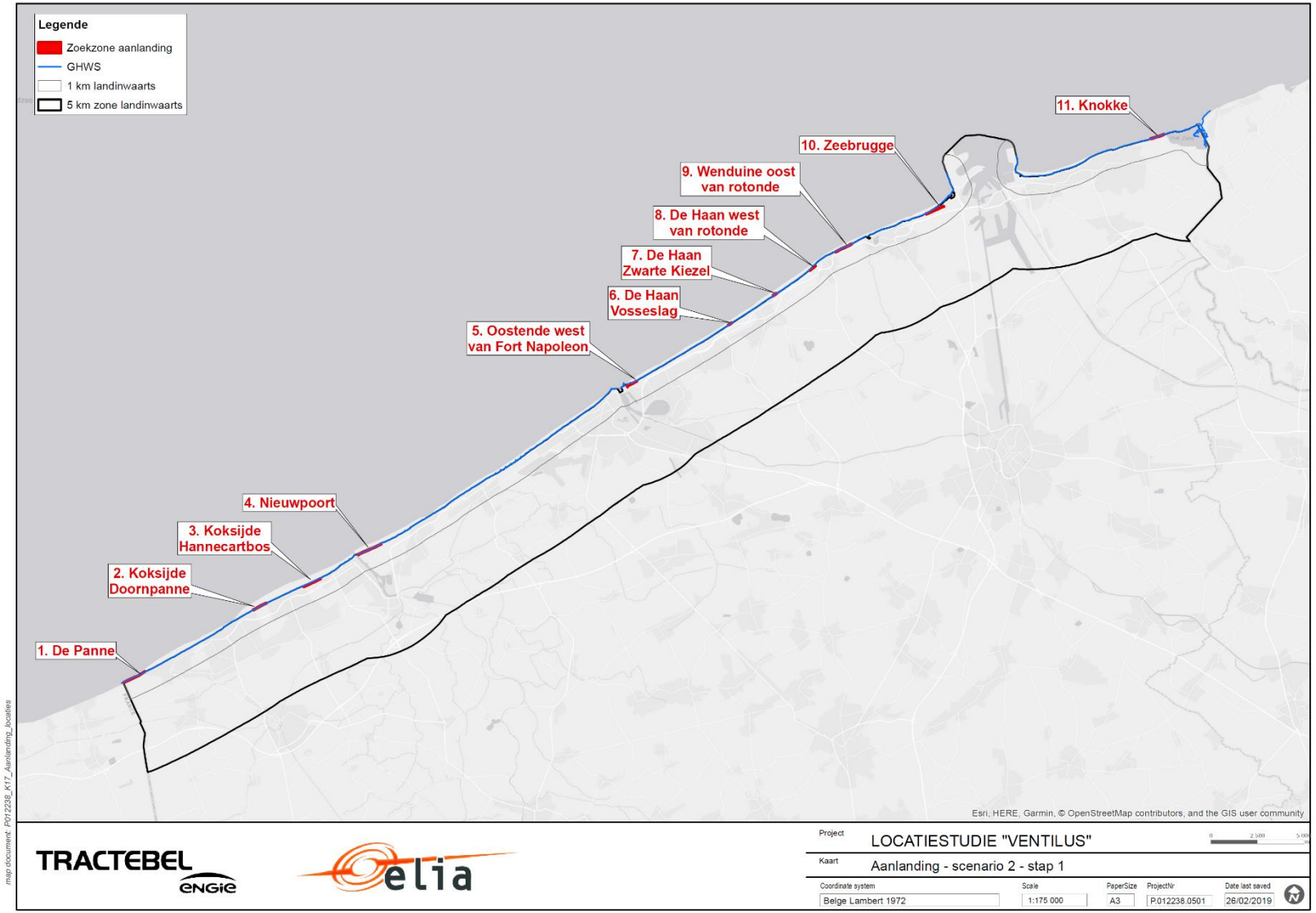
Wenduine – zone ten oosten van rotonde (nummer 9 op Figuur 15)		
Gemeente	Wenduine	
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 24)		
Technisch		
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	Ok	
Ruimtelijk		
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok	
Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 32)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Strandhoofden met een tussenafstand van ca. 230 meter. Voldoende ruimte tussenin beschikbaar.	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Er zijn heel wat kleinere waterlopen gelegen in het gebied.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en	Werfzone op het strand kan ontsloten worden via de Manitobahelling. Via deze weg dient een intensieve strandrecreatiezone doorkruist te worden.	

uittredepunt voor zwaar transport	Het zuidelijk deel van het gebied is moeilijk te ontsluiten voor zwaar transport gezien het ontbreken van wegenis. Ontsluiting zou eventueel via de Neptunuslaan kunnen gebeuren.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Geen mogelijkheden voor duurzaam ruimtegebruik gezien het ontbreken van lijninfrastructuren.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Ok	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Aanwezigheid van zware klei en kleiplaatgronden	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500002 'Polders' – opmaak van passende beoordeling vereist. Habitatrichtlijngebied BE2500001 'Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin' – opmaak van passende beoordeling vereist. Vogelrichtlijngebied BE2500932 'Poldercomplex' – opmaak van passende beoordeling vereist. VEN-gebied 113 'De Uitkerkse polder' – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist. Beschermd onroerend erfgoed 'Uitkerkse polder' (vastgesteld landschapsatlasrelict).	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De geselecteerde locatie is omgeven door open ruimte gebied. Een connectie met het achterland is gemakkelijk te realiseren.		
Conclusie		
De aanlanding situeert zich in juridisch beschermd gebied wat de situatie juridisch en administratief complex zou kunnen maken. De technische uitvoering kan belemmerd worden door de aanwezigheid van zware klei en de vele waterlopen in het gebied. Deze locatie wordt bijgevolg als eerder niet geschikt bevonden voor de realisatie van de aanlanding.		

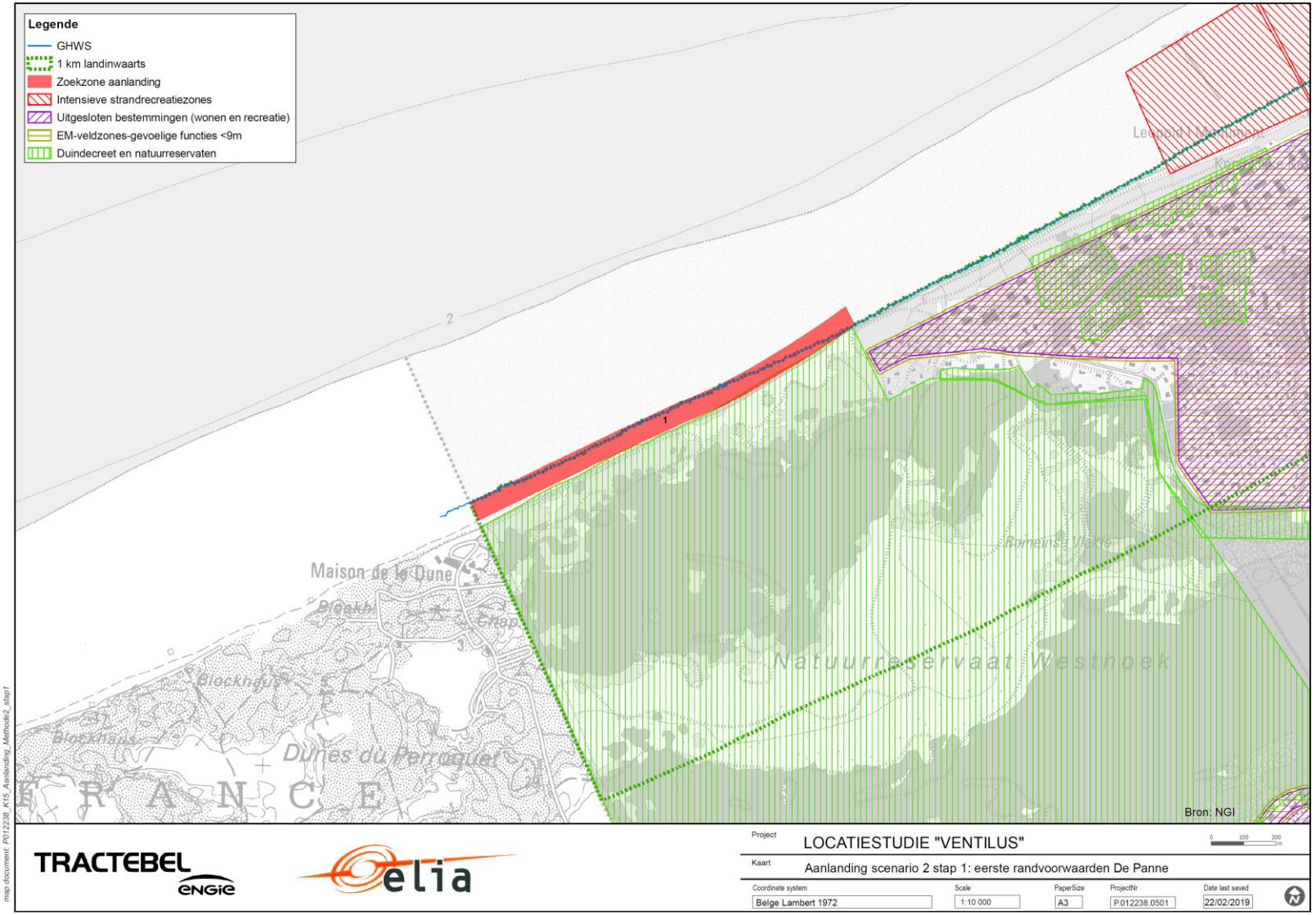
Zeebrugge – zone ten westen van westelijke strekdam (nummer 10 op Figuur 15)	
Gemeente	Zeebrugge
Analyse eerste orde randvoorwaarden (Figuur 25)	
Technisch	
Geen opeenvolging van fysische obstructies van > 1.000m	Ok
Ruimtelijk	
Geen onderboring van bepaalde bestemmingen/ landgebruik	Ok

Maatschappelijk/milieukundig		
Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones voor de aanlanding (werfzone intredepunt)	Ok	
Uitsluiten van gevoelige functies in de omgeving van het in- en uittredepunt	Ok	
Juridisch		
Geen ligging in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ok	
Analyse tweede orde randvoorwaarden (Figuur 33)		
Technisch		
Afwezigheid strandhoofden / strandkribben op diepte ter hoogte van de strandzone	Ok	
Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van uittredepunt	Uittredepunt dient zorgvuldig gekozen te worden ten opzichte van het aanwezige oppervlaktewater en de aanwezige wegenis.	
Ligging t.o.v. andere pijpleidingen	Ok	
Ontsluitingsmogelijkheden werfzone in- en uittredepunt voor zwaar transport	De werfzone van het intredepunt kan ontsloten worden via de Westerdam en de toegang tot het Evenementenplateau in Zeebrugge. De werfzone ligt vanaf de toegang tot het strand nog ca. 870 meter verder, dat betekent dat het ruimtebeslag wellicht groter zal zijn dan strikt noodzakelijk.	
	De werfzone van het uittredepunt kan ontsloten worden via de Zeebruggelaan.	
Ruimtelijk		
Duurzaam ruimtegebruik / inpasbaarheid	Mogelijkheid om de kabels aan te leggen parallel met de aanwezige lijninfrastructuren en de aanlanding te bundelen met de aanlanding van de andere windparken. In de nabije omgeving zijn reeds luchtlijnen gelegen.	
Maatschappelijk/milieukundig		
Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m	Ok	
Geen te natte kleibodem bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken	Aanwezigheid van dekkleigronden en kleiplaatgronden	
Juridisch		
Geen ligging van in- en/of uittredepunt nabij juridisch beschermde gebieden	Habitatrichtlijngebied BE2500001 ‘Duingebieden inclusief IJzermonding en Zwin’ – opmaak van passende beoordeling vereist. Vogelrichtlijngebied BE2500932 ‘Poldercomplex’ – opmaak van passende beoordeling vereist. VEN-gebied 103 ‘De Fonteintjes en Oudemaarspolder’ – opmaak van verscherpte natuurtoets vereist.	

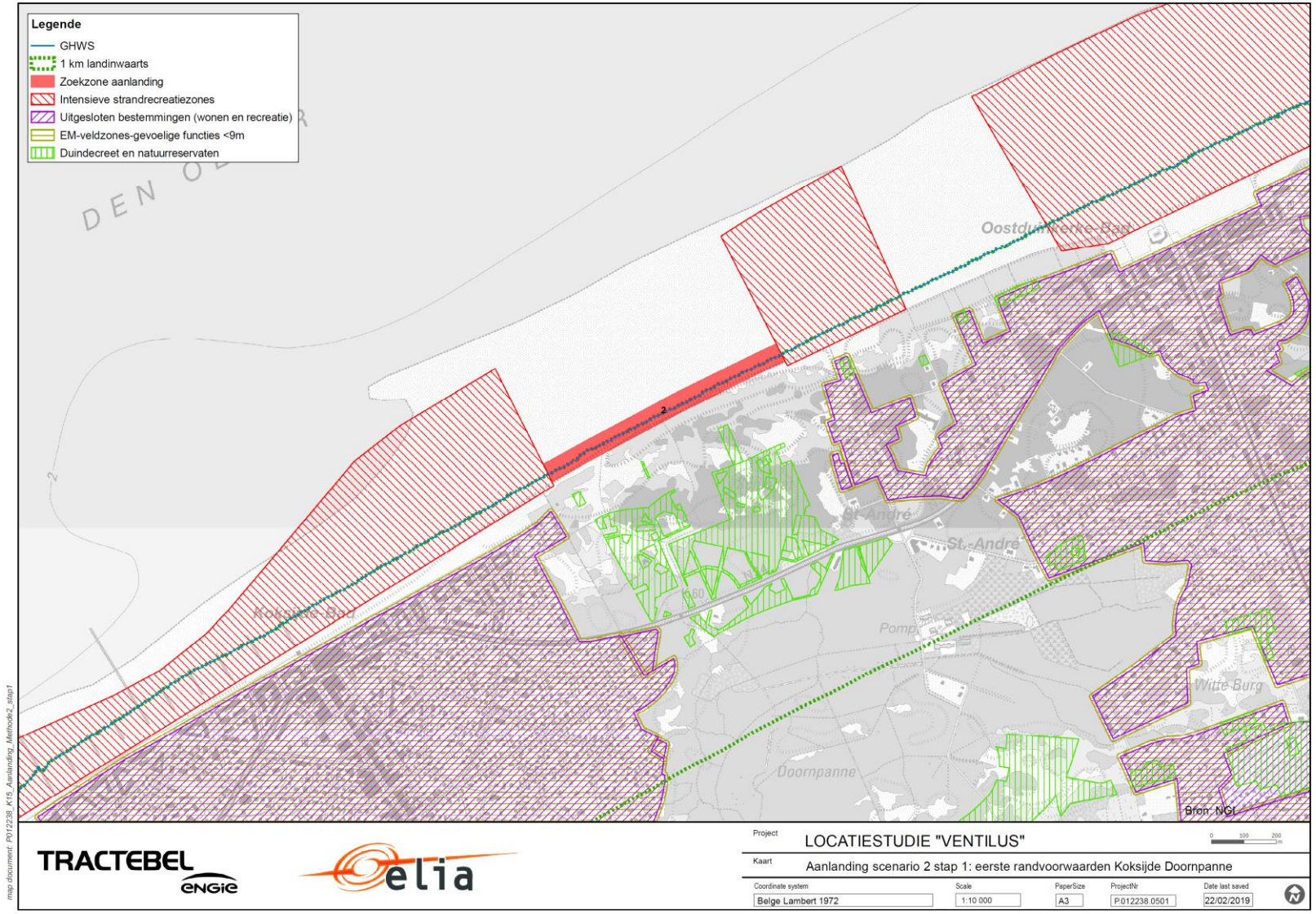
	Provinciaal domein Zeebos is gelegen in de polder. Een uittrede van de boring in dit domein is mogelijk moeilijk.	
Mogelijkheden connectie met achterland		
De geselecteerde locatie is omgeven door open ruimte gebied. Een connectie met het achterland is gemakkelijk te realiseren.		
Conclusie		
Deze locatie is geschikt voor de aanlanding.		



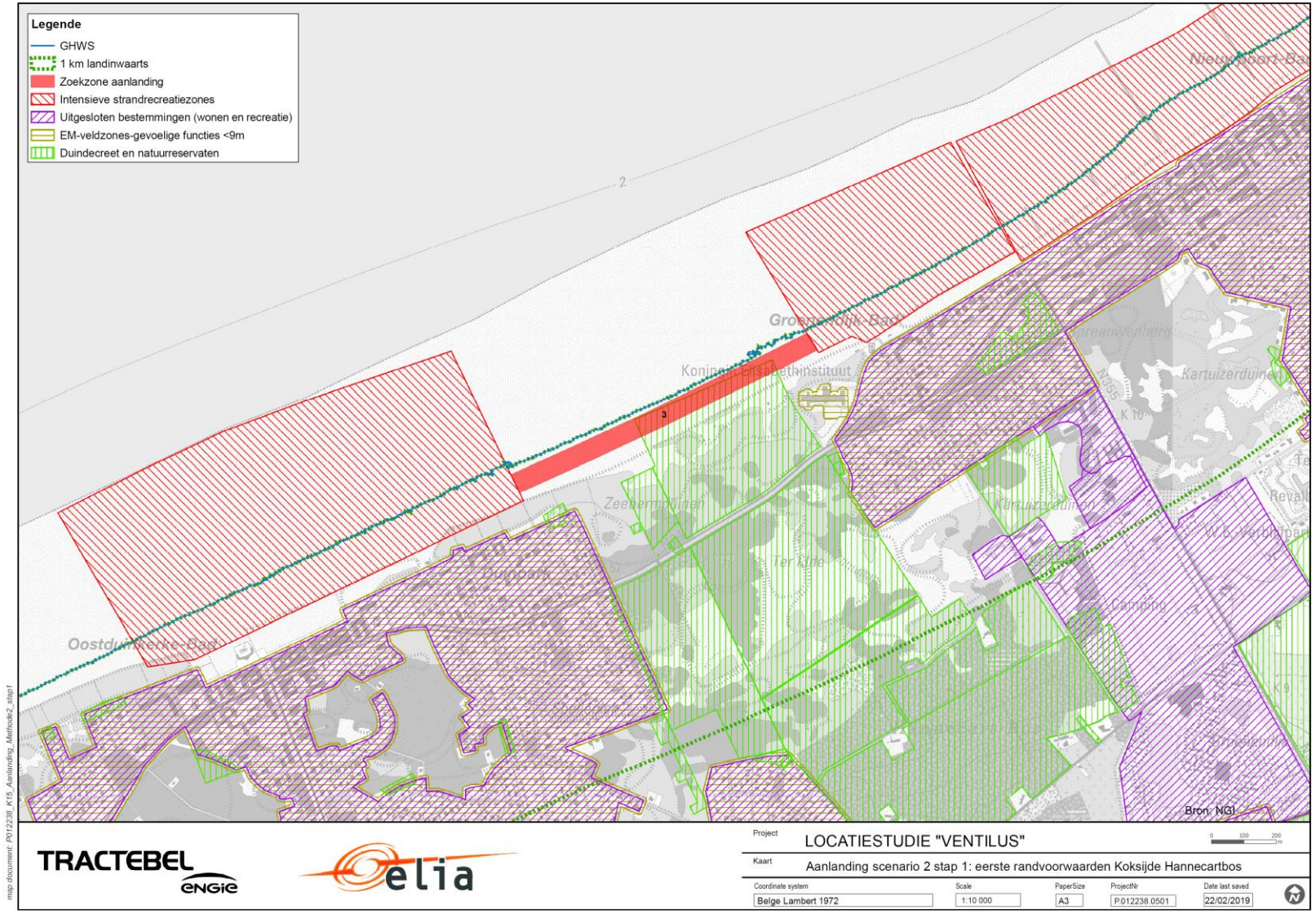
Figuur 15 Aanlanding zeekabels – stap 1: selectie eerste orde randvoorwaarden (scenario 2)



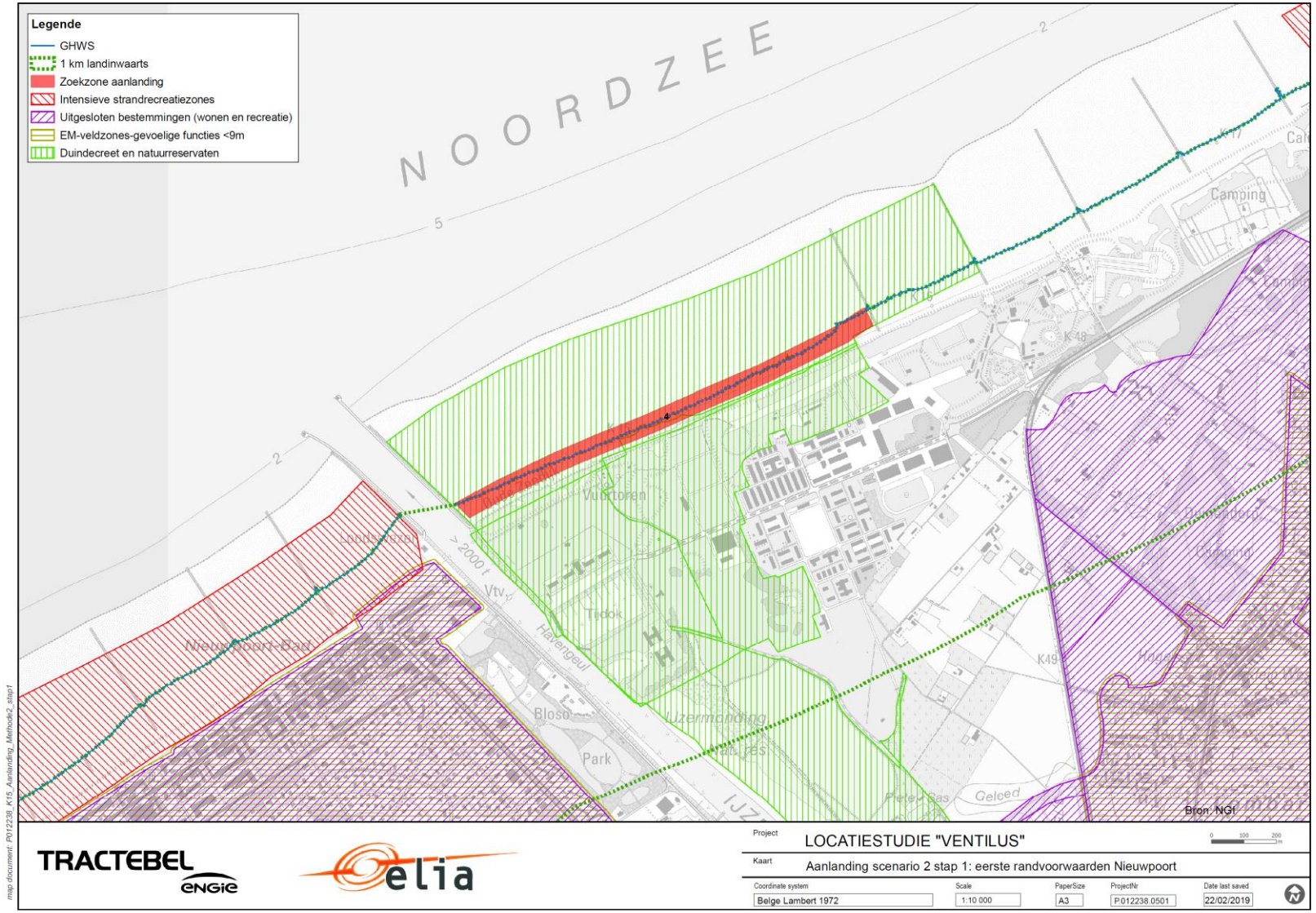
Figuur 16 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Panne (scenario 2)



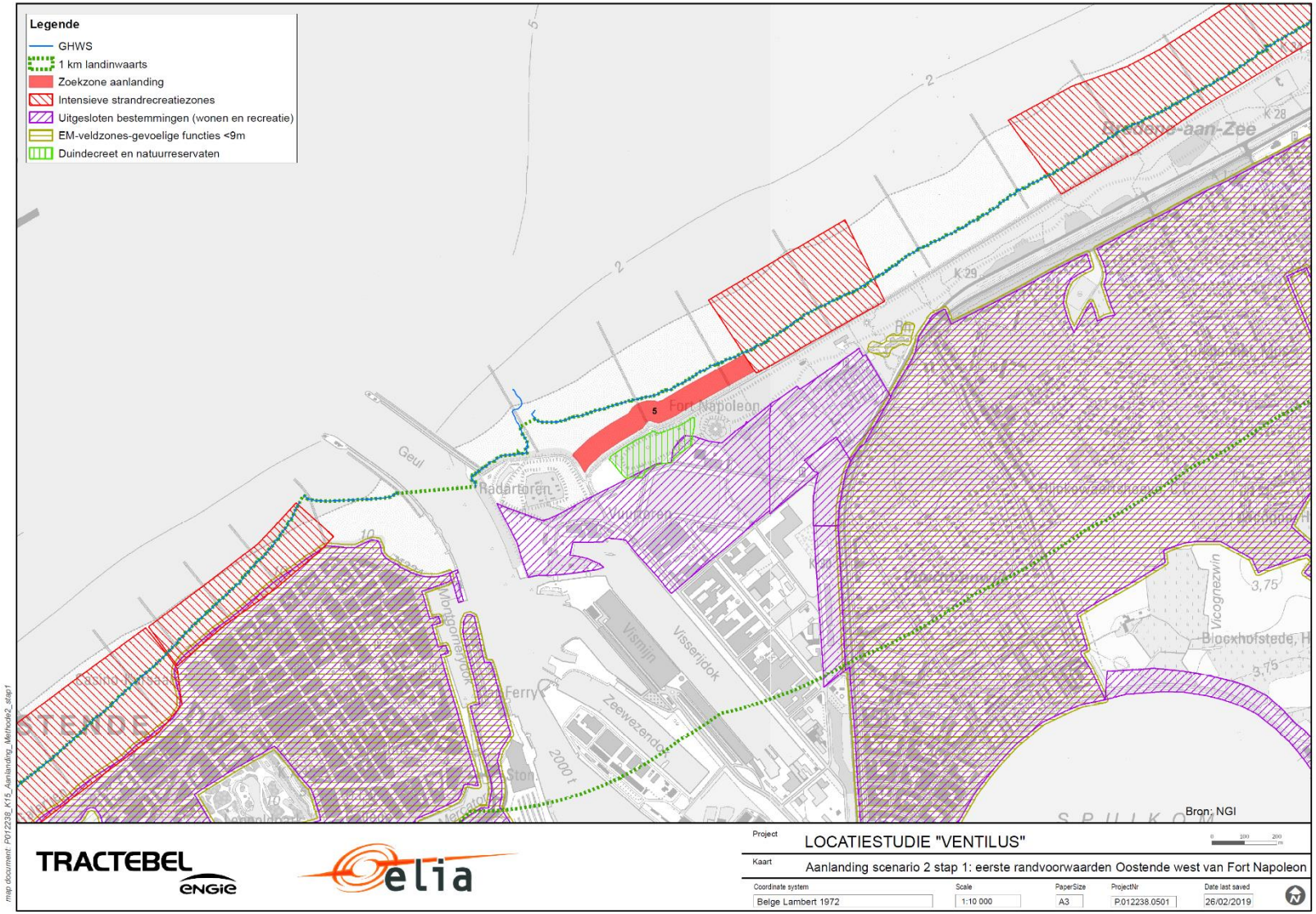
Figuur 17 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Koksijde – Doornpanne (scenario 2)



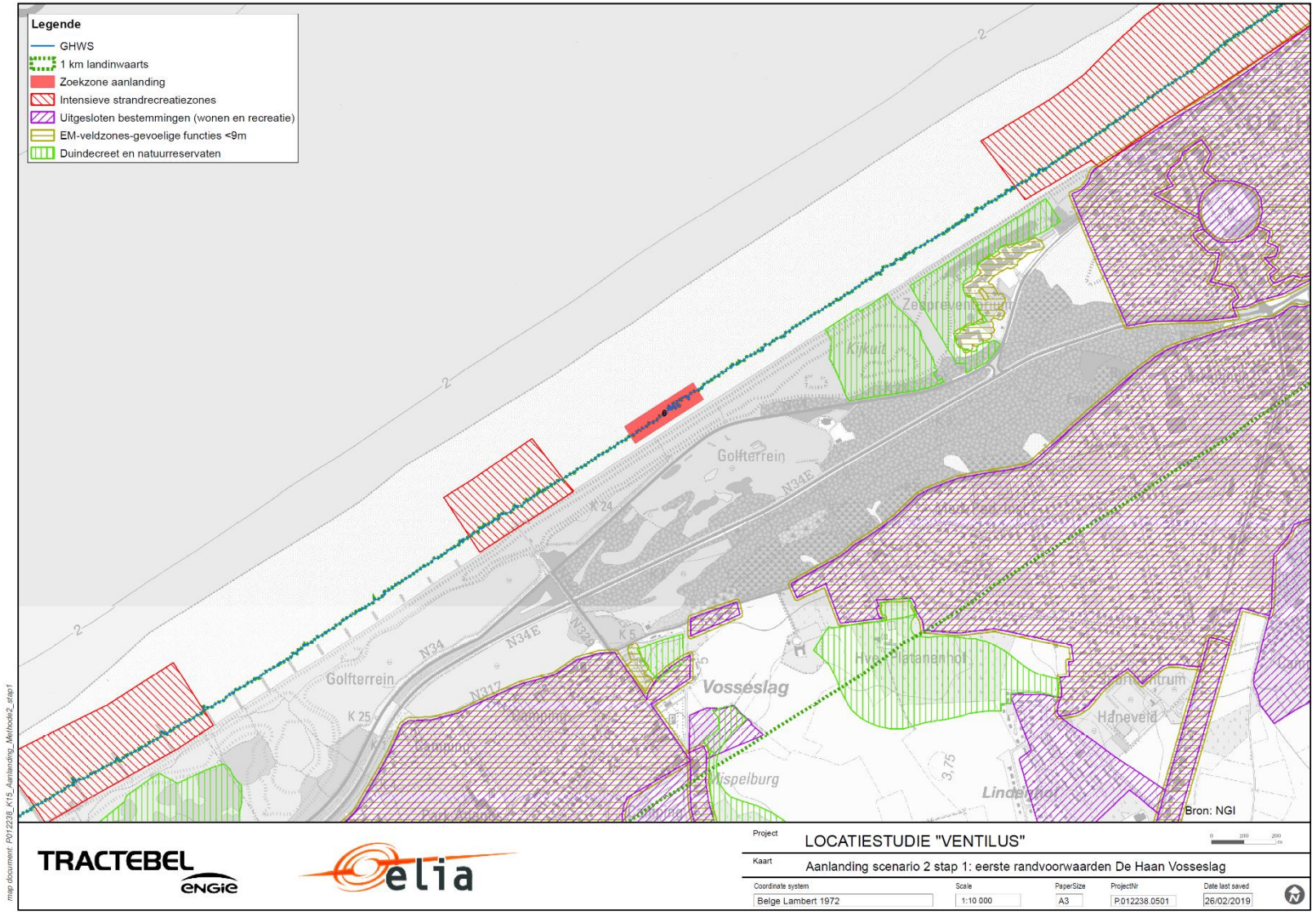
Figuur 18 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Koksijde - Hannecartbos (scenario 2)



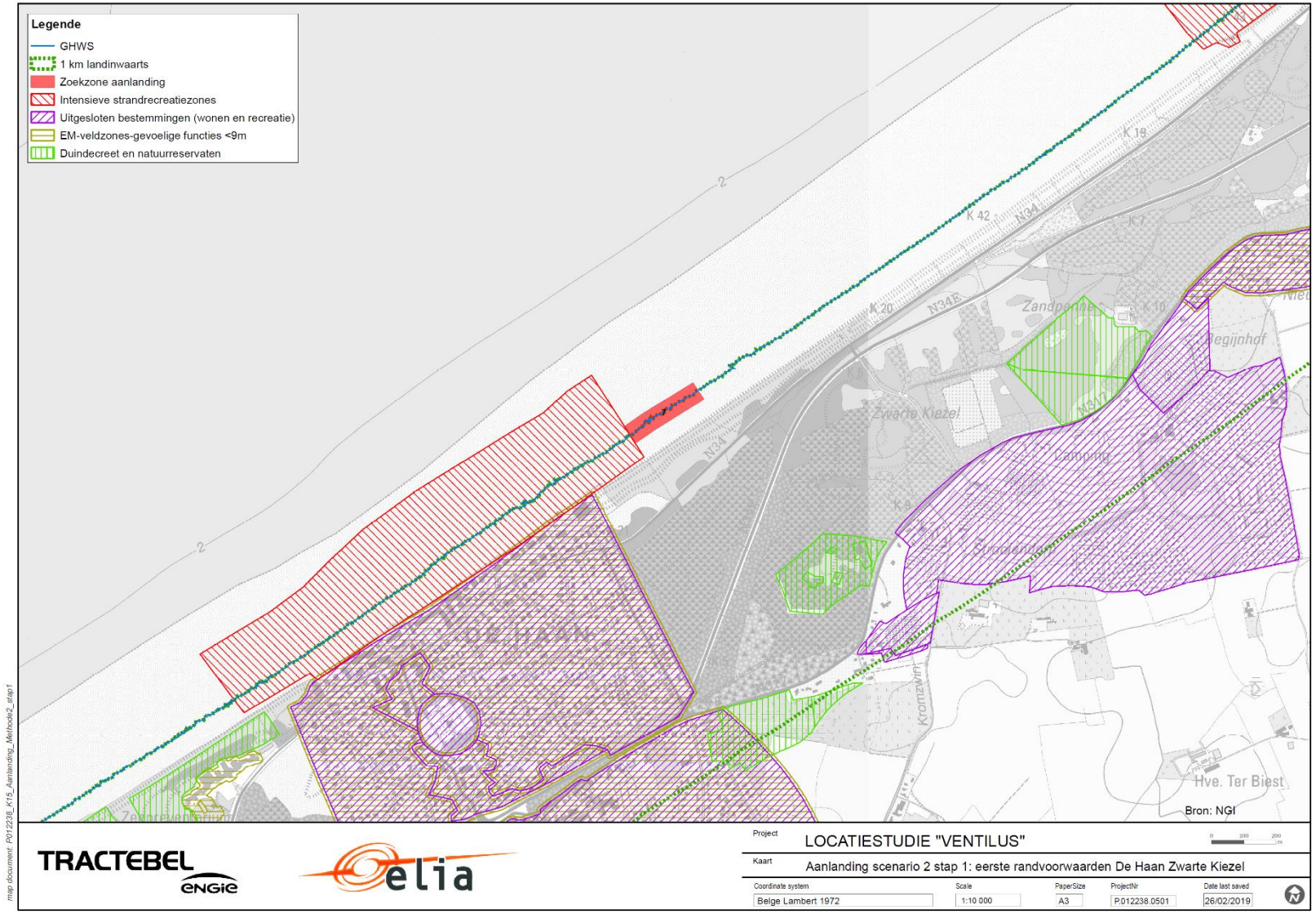
Figuur 19 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Nieuwpoort (scenario 2)



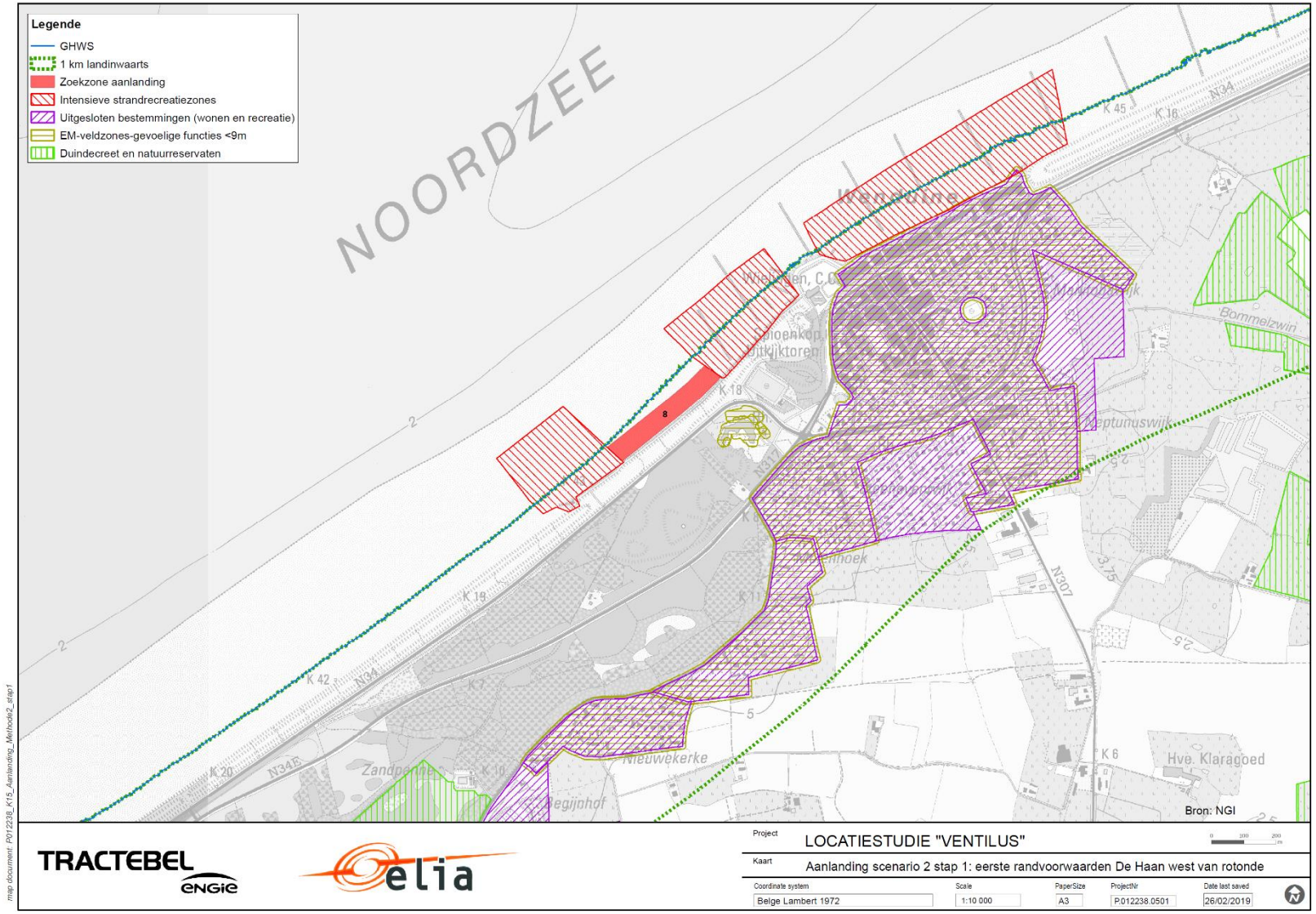
Figuur 20 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Oostende ten westen van Fort Napoleon (scenario 2)



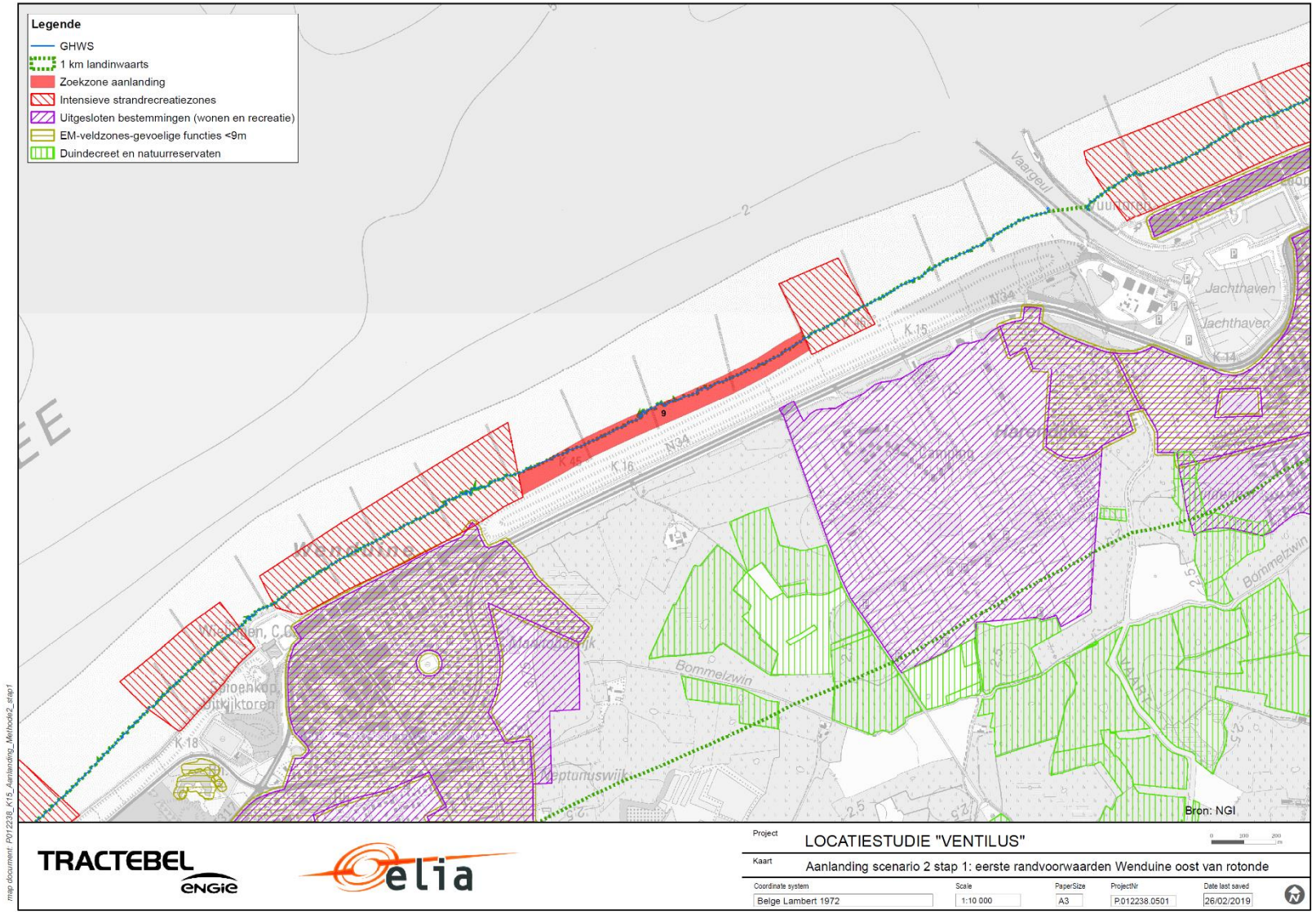
Figuur 21 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – Vosseslag (scenario 2)



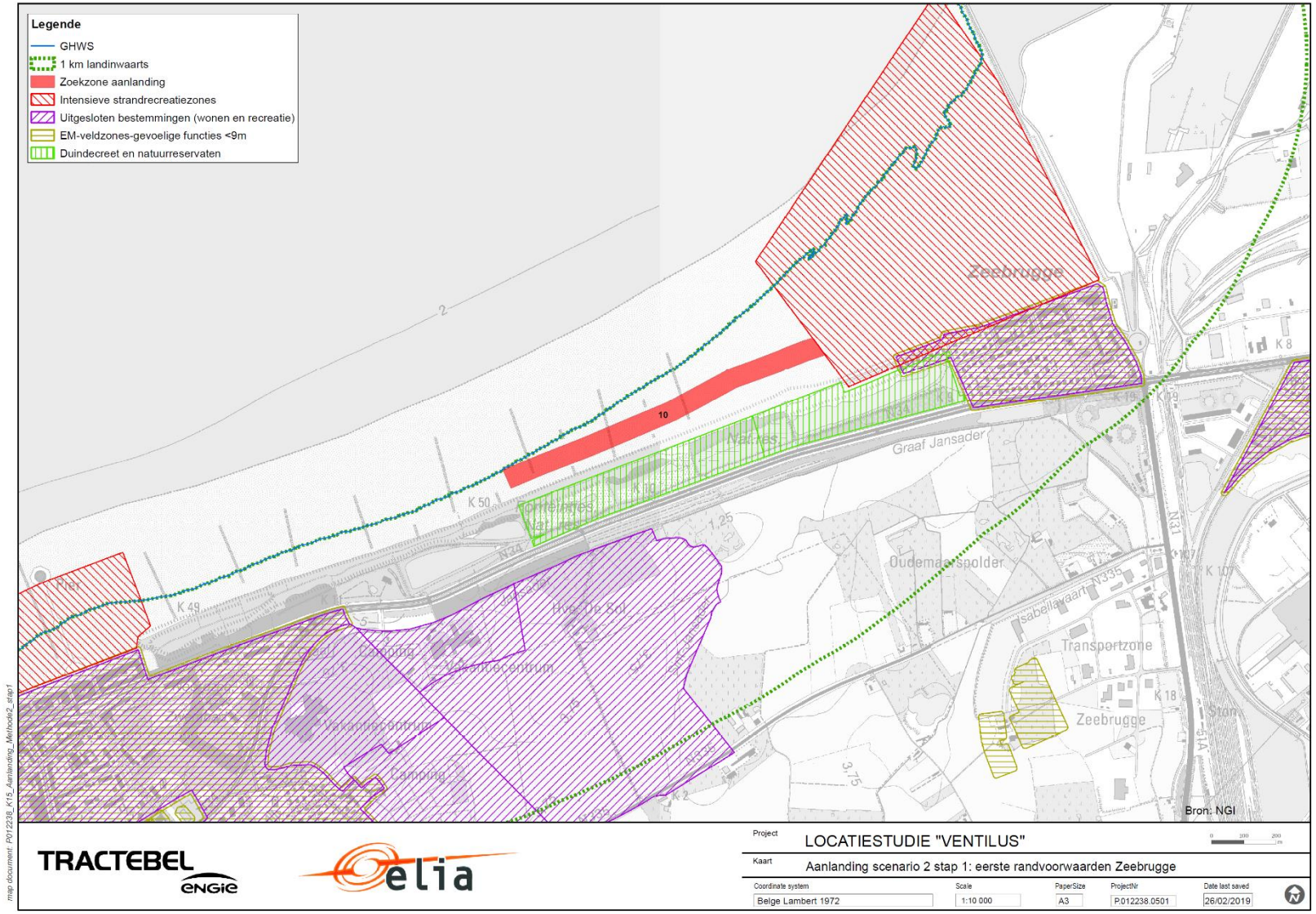
Figuur 22 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – Zwarte Kiezel (scenario 2)



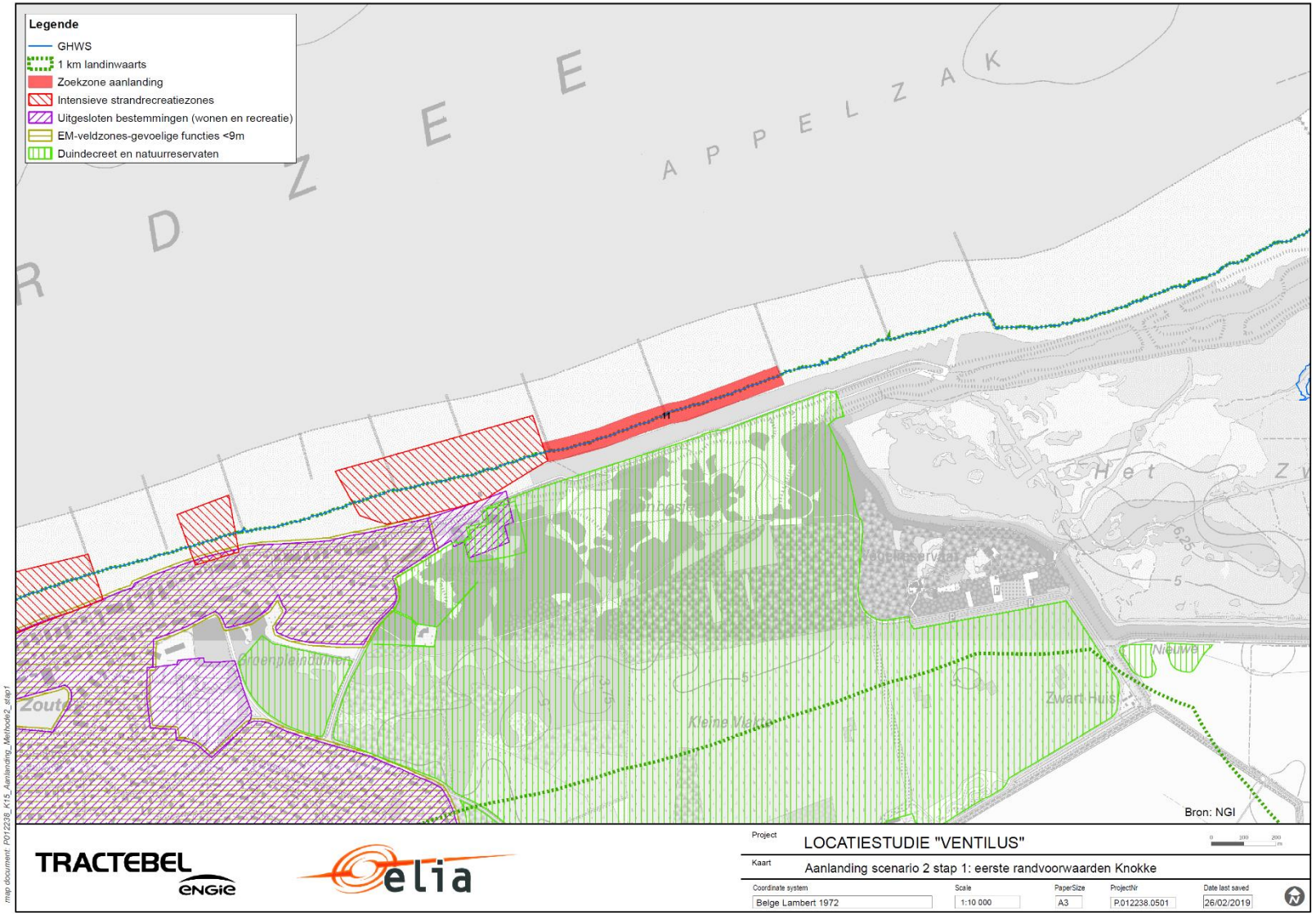
Figuur 23 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden De Haan – west van rotonde (scenario 2)



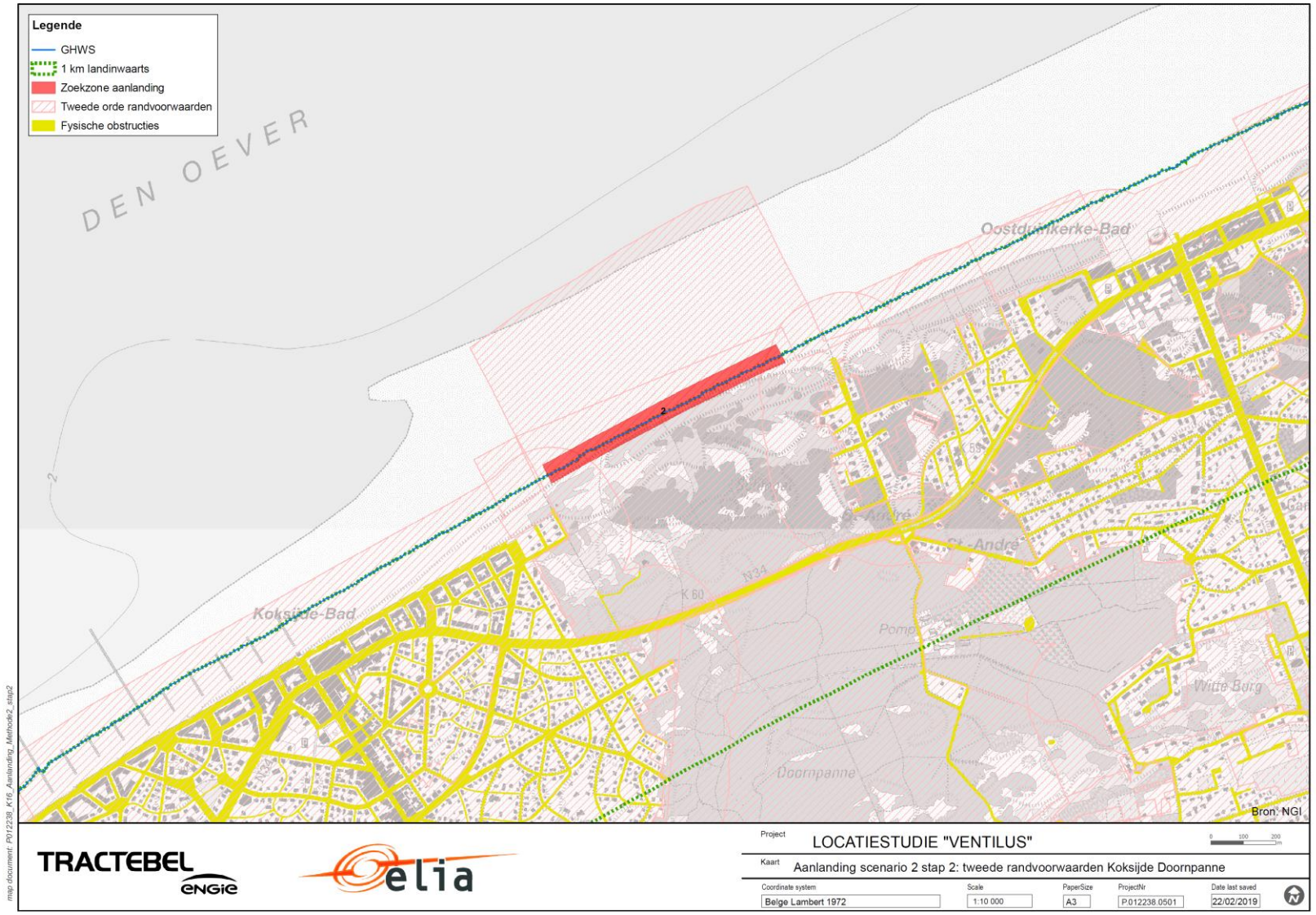
Figuur 24 *Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Wenduine – oost van rotonde (scenario 2)*



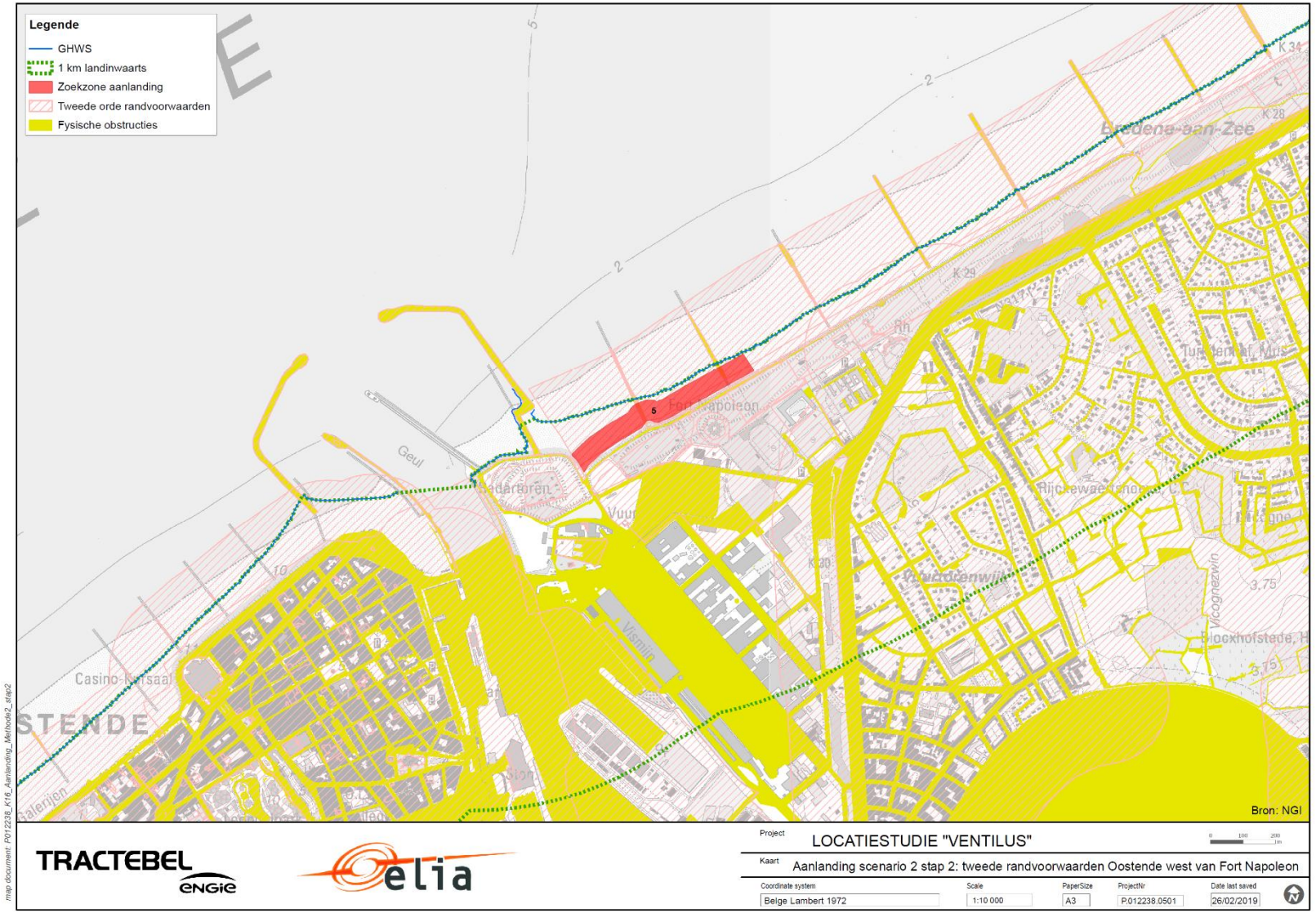
Figuur 25 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Zeebrugge (scenario 2)



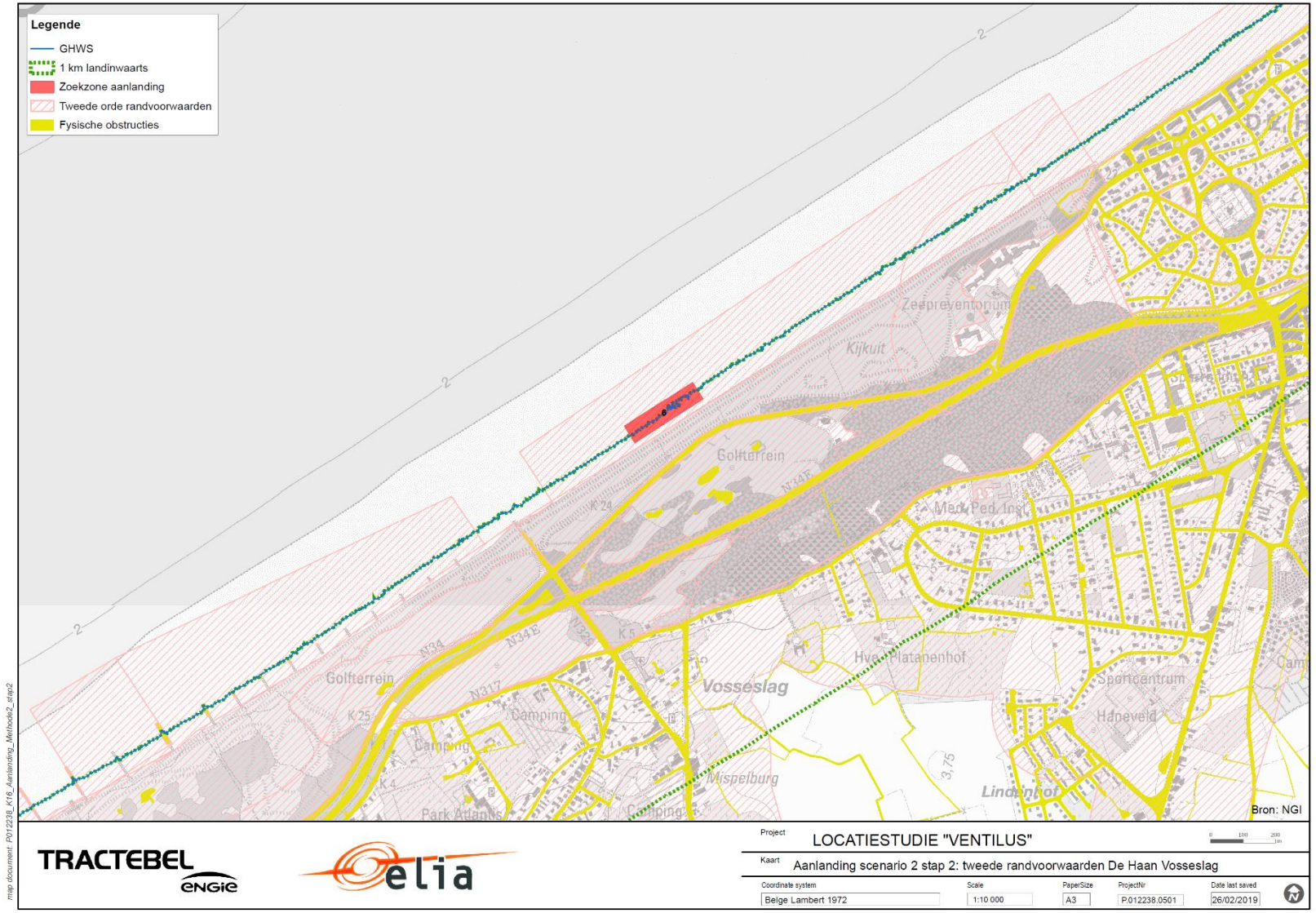
Figuur 26 Aanlanding zeekabels – stap 1: eerste orde randvoorwaarden Knokke (scenario 2)



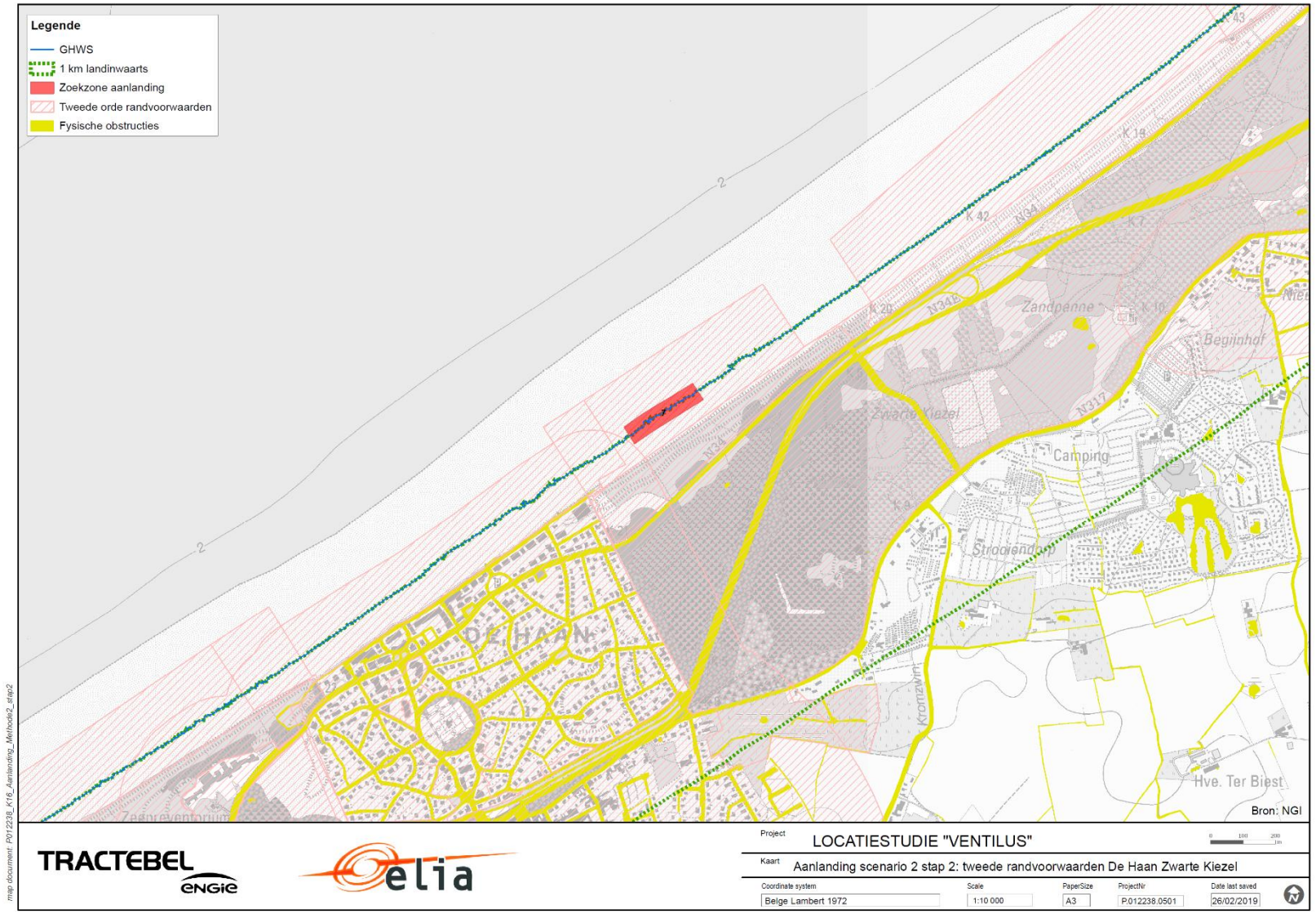
Figuur 27 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Koksijde - Doornpanne (scenario 2)



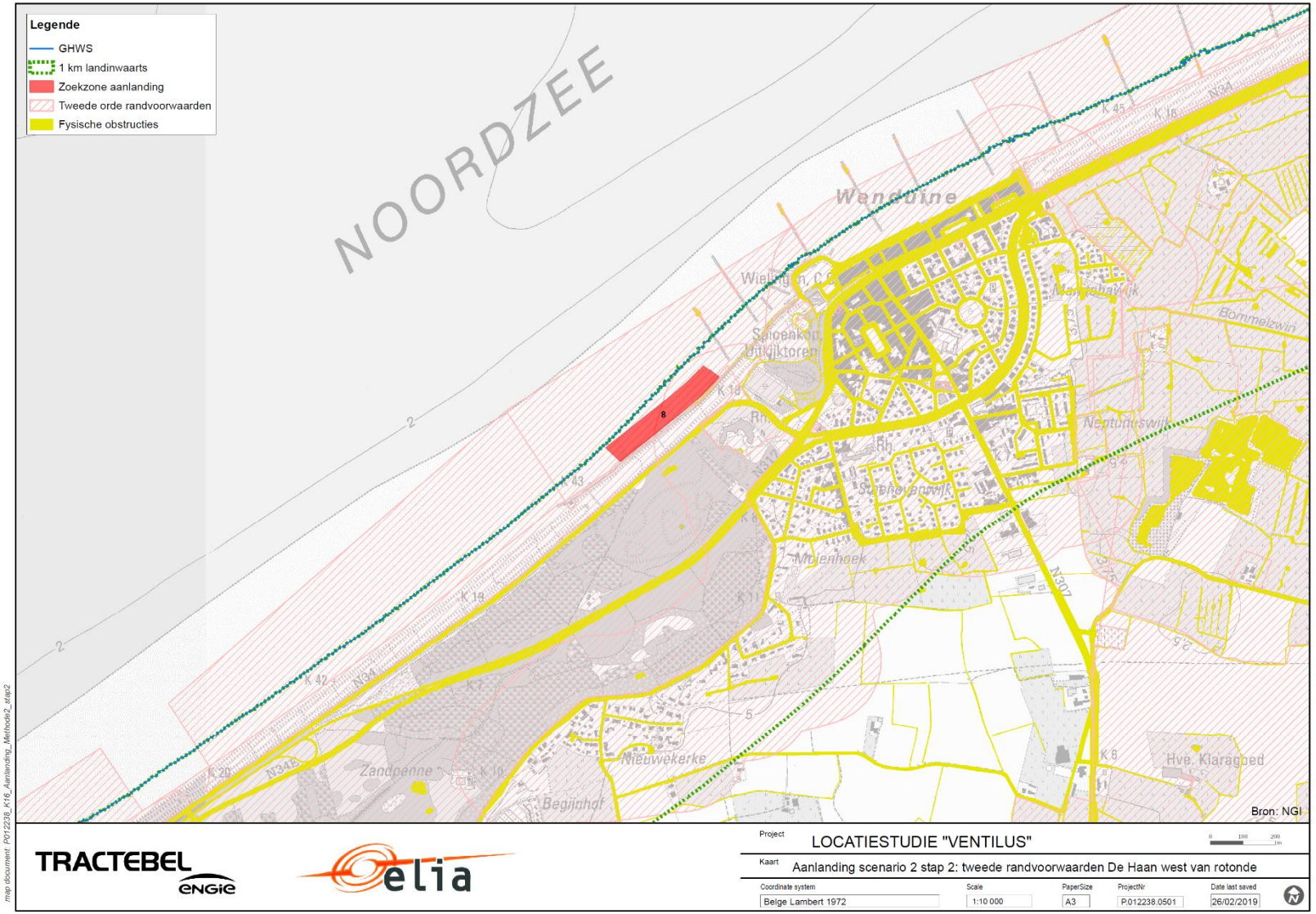
Figuur 28 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Oostende ten westen van Fort Napoleon (scenario 2)



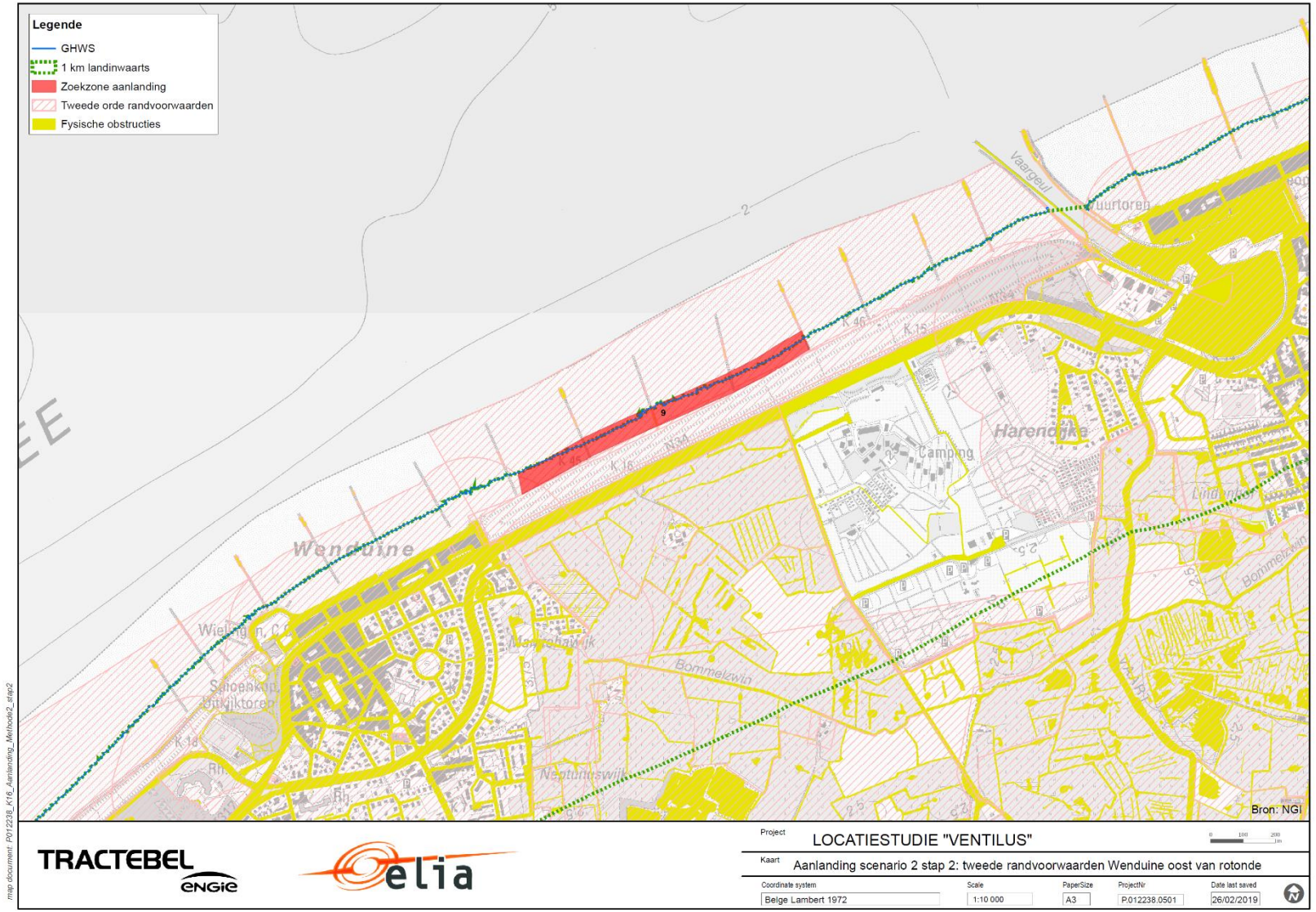
Figuur 29 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – Vosseslag (scenario 2)



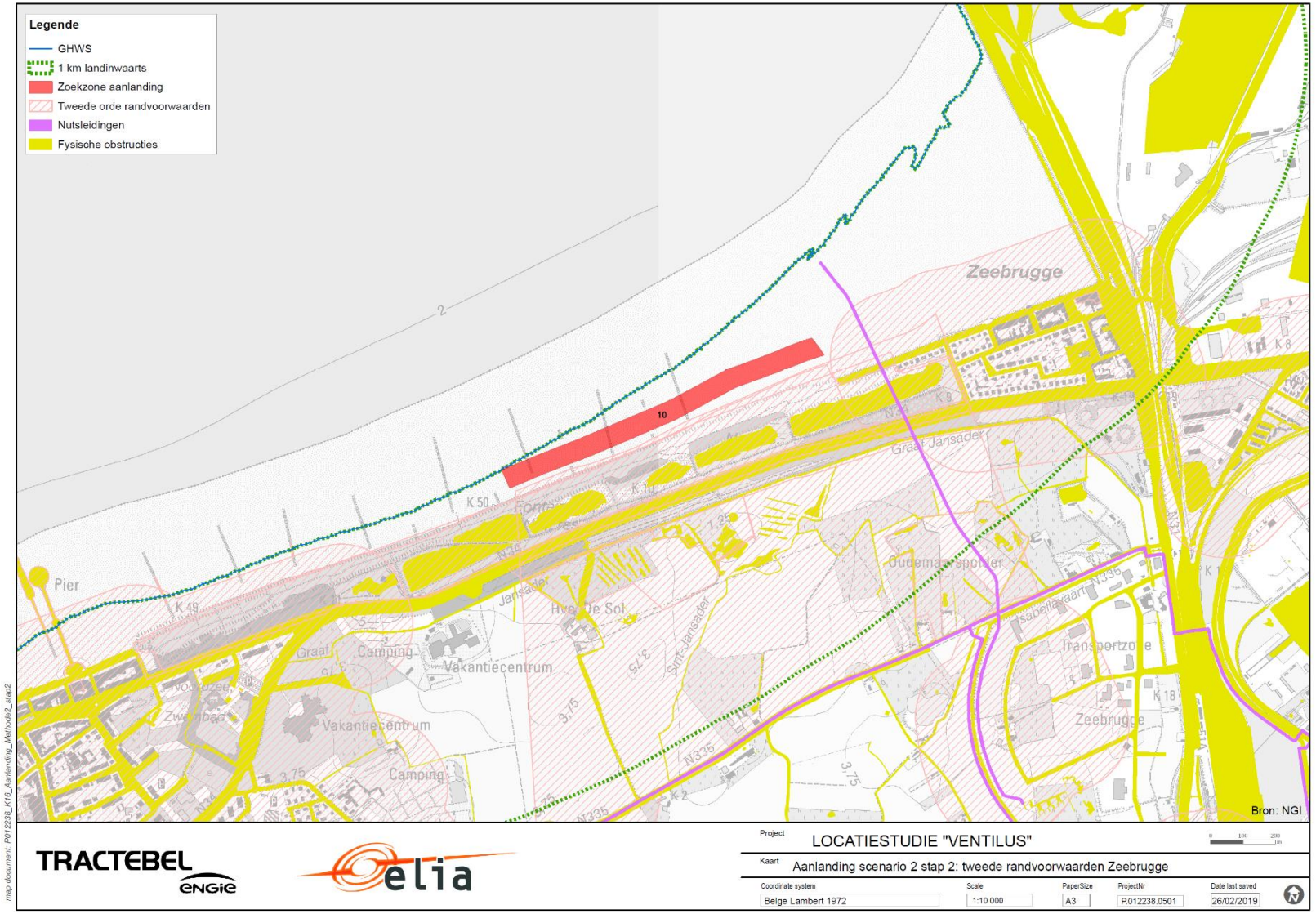
Figuur 30 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – Zwarte Kiezel (scenario 2)



Figuur 31 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden De Haan – west van rotonde (scenario 2)



Figuur 32 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Wenduine – oost van rotonde(scenario 2)



Figuur 33 Aanlanding zeekabels – stap 2: tweede orde randvoorwaarden Zeebrugge (scenario 2)

4 Synthese

Elia is op zoek naar een geschikte locatie voor de aanlanding van zeekabels op de kust. Voor de realisatie van de aanlanding zijn 2 technieken mogelijk:

1. Scenario 1: Er wordt eerst een transitieput (mofput) op het strand geplaatst waar de zeekabel wordt verbonden aan de landkabel. Deze landkabel zal dan via een boring onder de duinen getrokken worden naar de andere kant van de duinen.
2. Scenario 2: De zeekabel wordt rechtstreeks in een boring onder de duinen getrokken naar de andere kant van de duinen. Aan deze zijde zal de zeekabel verbonden worden met de landkabel.

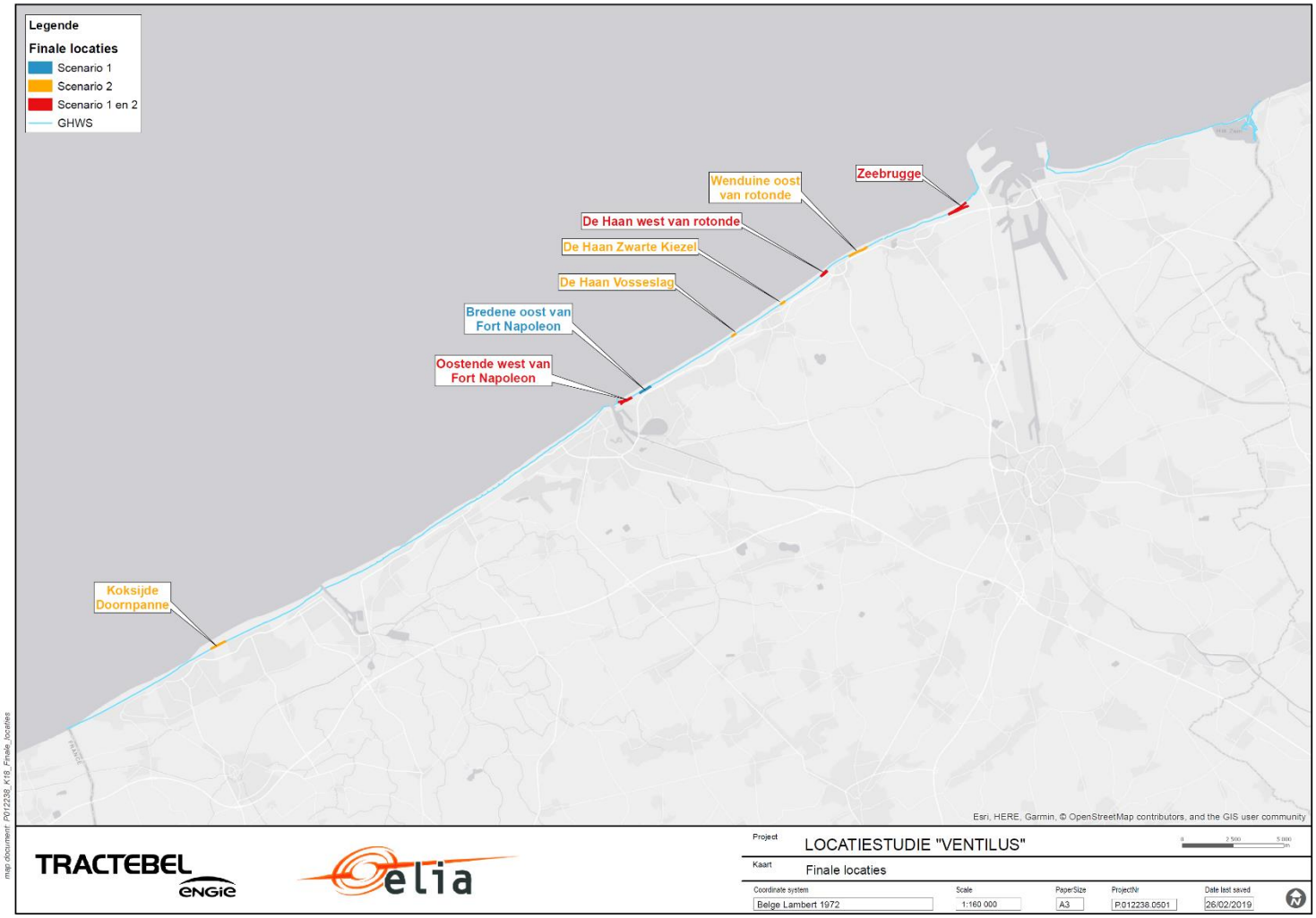
De selectie van potentiële locaties gebeurt op basis van vooraf gedefinieerde randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden worden ingedeeld in technische, ruimtelijke, maatschappelijke/ milieukundige en juridische randvoorwaarden. Daarnaast wordt een onderscheid gemaakt tussen randvoorwaarden in eerste en tweede orde waarbij eerstgenoemde in deze studie uitsluiting van bepaalde zones impliceren.

Na de analyse van eerste en tweede orde randvoorwaarden volgt een evaluatiefase. Hieruit blijkt dat voor de aanlanding van de zeekabels volgende locaties in aanmerking komen:

- Scenario 1:
    - Oostende - zone ten westen van Fort Napoleon
    - Bredene – zone ten oosten van Fort Napoleon
    - De Haan – zone ten westen van de rotonde
    - Zeebrugge - zone ten westen van de westelijke strekdam
- Scenario 2:
    - Koksijde – zone ter hoogte van Doornpanne
    - Oostende – zone ten westen van Fort Napoleon
    - De Haan – zone ter hoogte van Vosseslag
    - De Haan – zone ter hoogte van Zwarte Kiezel
    - De Haan – zone ten westen van de rotonde
    - Wenduine – zone ten oosten van rotonde
    - Zeebrugge – zone ten westen van westelijke strekdam

Voor beide scenario's komt de locatie in Zeebrugge als meest geschikte locatie naar voor.

Aan de hand van verdere detailstudies zal de technische haalbaarheid van elk van de geselecteerde locaties (zie Figuur 34) verder onderzocht worden.



Figuur 34 Synthesekaart

5 Bijlagen

5.1 Werfzones scenario’s

5.2 Beoordelingskader aanlanding zeekabels

Tabel 1 Beoordelingskader eerste orde randvoorwaarden aanlanding zeekabels – Scenario 1

RANDVOORWAARDEN EERSTE ORDE (uitsluitingszones)			Analyseniveau		Relevantie			Parameter	Bronnen	Opmerkingen
			STAP 1 1ste selectie	STAP 2 2de selectie op output Stap 1	Aanlanding/ intredepunt	Onderboring	Uittredepunt			
Oppervlaktedoelstelling	Aanééngesloten werkstrook 60 m x 250 m op strand (verloop haaks t.o.v. kustlijn boven hoogwaterlijn)		x		x			Opp strand boven hoogwaterlijn		
	Aanééngesloten werkstrook 50m in langsrichting in polder en 100 meter in dwarsrichting tov kustlijn		x				x	Opp onbebouwde percelen, in polder		
1. Technisch	1.1 Breedte duinengordel en mogelijke obstructies (waterlopen, wegen, spoorwegen, natuurgebieden,...) < 1.500 m		x		x	x	x	Breedte duinengordel, waterlopen, wegen, spoorwegen, natuurgebieden		
2. Ruimtelijk	2.1 Zoekzone macroniveau: volledige kuststrook (tot laagwaterlijn) met focusgebieden Koksijde, Oostende, Zeebrugge		x		x	x	x			
	2.2 Zoekzone mesoniveau: strand (tot laagwaterlijn)-duinen- landinwaarts in polder (voldoende vrije ruimte beschikbaar)		x		x	x	x			
	2.3 Geen onderboring in bepaalde bestemmingen	Niet in recreatiegebieden, bewoonde of te bewonen gebieden en in zonevreemde recreatie of wonen	x			x		Recreatiegebieden, woongebieden, woonuitbreidingsgebieden	Gewestplan, GRUP's, BPA's, terreincontrole	Tracé in deze zones is wel haalbaar indien onderdoorpersing (max. afstand 800-900 m)."Strandzone" als vorm van effectief recreatiegebied wordt niet uitgesloten.
3. Maatschappelijk/ Milieu	3.1 Uitsluiten van intensieve strandrecreatiezones	Uitsluiten van "bewaakte strandzones", surfclubs, strandcabines	x		x			Bewaakte strandzones	Bestaande kaart reddingsdiensten, luchtfoto's (zomer), info op websites gemeenten	
	3.2 Geen EM-veldzones-gevoelige bestemmingen < 9 m (voorzorgsbeleid magneetveldzone 0.4 uT)	Wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, ...	x		x		x	Afstand tot wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, ...		
4. Juridisch	4.1 Geen ligging van in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied van het type beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ligging buiten beschermd duingebied of natuurreservaat	x		x		x	Beschermd duingebied of natuurreservaat	Beschermd duingebied, natuurreservaten	

Tabel 2 Beoordelingskader eerste orde randvoorwaarden aanlanding zeekabels – Scenario 2

RANDVOORWAARDEN EERSTE ORDE (uitsluitingszones)			**Analyseniveau**		**Relevantie**			**Parameter**	**Bronnen**	**Opmerkingen**
			STAP 1 1ste selectie	**STAP 2 2de selectie op output Stap 1**	**Aanlanding/ intredepunt**	**Onderboring**	**Uittredepunt**			
Oppervlaktedoelstelling	Aanééngesloten werkstrook 50m in langsrichting in polder en 100 meter in dwarsrichting tov kustlijn		x				x	Opp onbebouwde percelen, in polder		
1. Technisch	1.1 Breedte duinengordel en mogelijke obstructies (waterlopen, wegen, spoorwegen, natuurgebieden,...) < 1.000 m		x		x	x	x	Breedte duinengordel, waterlopen, wegen, spoorwegen, natuurgebieden		
2. Ruimtelijk	2.1 Zoekzone macroniveau: volledige kuststrook (tot laagwaterlijn) met focusgebieden Koksijde, Oostende, Zeebrugge		x		x	x	x			
	2.2 Zoekzone mesoniveau: strand (tot laagwaterlijn)-duinen- landinwaarts in polder (voldoende vrije ruimte beschikbaar)		x		x	x	x			
	2.3 Geen onderboring in bepaalde bestemmingen	Niet in recreatiegebieden, bewoonde of te bewonen gebieden en in zonevreemde recreatie of wonen	x			x		Recreatiegebieden, woongebieden, woonuitbreidingsgebieden	Gewestplan, GRUP's, BPA's, terreincontrole	Tracé in deze zones is wel haalbaar indien onderdoorpersing (max. afstand 800-900 m)."Strandzone" als vorm van effectief recreatiegebied wordt niet uitgesloten.
3. Maatschappelijk/ Milieu	3.1 Geen EM-veldzones-gevoelige bestemmingen < 9 m (voorzorgsbeleid magneetveldzone 0.4 uT)	Wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, ...	x		x		x	Afstand tot wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, ...		
4. Juridisch	4.1 Geen ligging van in- of uittredepunt in juridisch beschermd duingebied van het type beschermd duingebied of natuurreservaat.	Ligging buiten beschermd duingebied of natuurreservaat	x		x		x	Beschermd duingebied of natuurreservaat	Beschermd duingebied, natuurreservaten	

Tabel 3 Beoordelingskader tweede orde randvoorwaarden aanlanding zeekabels – scenario 1 en 2

RANDVOORWAARDEN TWEEDE ORDE (met bandbreedte of vrijheidsgraad)			**Analyseniveau**		**Relevantie**			**Parameter**	**Bronnen**	**Opmerkingen**
			STAP 1 1ste selectie	**STAP 2 2de selectie op output Stap 1**	**Aanlanding/ intredepunt**	**Onderboring**	**Uittredepunt**			
1. Technisch	1.1 Afwezigheid strandhoofden/strandkribben op diepte			x	x			Strandhoofden, strandkribben	Luchtfoto's	
	1.2 Afwezigheid van fysische obstructies ter hoogte van het uittredepunt			x			x	Waterlopen, sluizen, wegen, spoorwegen, …		
	1.3 Ligging t.o.v. andere nutsleidingen	5 m afstand t.o.v. gasleidingen en HS leidingen		x	x		x	Buffer rond leidingen		
	1.4 Ontsluitingsmogelijkheden voor zwaar transport in werffase	Geen barrières in langsrichting strandzone tot 1000 m van de inplantingsplaats en/of		x	x		x	Vrije afstand tot dichtsbijzijnde weg	luchtfoto's	
		Ontsluitingsmogelijkheid voor grote vrachtwagens haaks op dijk en kustlijn, buiten woongebied						Afstand tot wegennet	Wegennet, terreincontrole	
2. Ruimtelijk	2.1 Duurzaam ruimtegebruik, inpasbaarheid binnen de omliggende functies			x	x		x		Terreincontrole	
3. Maatschappelijk/ Milieu	3.1 Geen permanente geluidsgevoelige functies < 200 m (verstoringszone geluid – etmaalcontour 35 dB(A))	Wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, …		x	x		x	Afstand tot wonen, ziekenhuizen, scholen, kinderkribben, rusthuizen, …		Geluidshinder is tijdelijk
	3.2 Geen te natte kleibodems bij boringen omwille van herstelmogelijkheden na werken			x			x		Bodemkaart	e en f drainageklasse voor kleibodems en veengronden
4. Juridisch	4.1 Geen ligging van in- en uittredepunt in juridisch beschermde gebieden	Ligging buiten Habitatrichtlijngebieden, Vogelrichtlijngebieden, VEN-gebieden, beschermde Landschappen en vastgestelde inventaris landschapsatlas		x	x		x	Habitatrichtlijngebieden, Vogelrichtlijngebieden, VEN-gebieden, beschermde landschappen en vastgestelde inventaris landschapsatlas	Natura 2000 gebieden, VEN, vastgestelde inventaris landschapsatlas	Tracé in deze gebieden wel haalbaar indien onderdoorpersing. max. afstand 800-900 m. Vogelrichtlijngebied aan in- en uittredepunt worden niet uitgesloten.

Bijlage 4.1 Hoogspanningsnet in België

1 Het hoogspanningsnet in België

In deze bijlage wordt een algemene samenvatting gegeven over het hoogspanningsnet in België. Dit omvat een toelichting over de taken van Elia, de elementen van het hoogspanningsnet, de randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden en de principes die Elia toepast om aan de randvoorwaarden te voldoen.

1.1 Elia – de beheerder van het hoogspanningsnet

Over het hoogspanningsnet wordt stroom vervoerd van de producenten naar de distributienetbeheerders en de industriële grootverbruikers. In België gebeurt het transport van elektriciteit (voor de spanningsniveaus 380/220/150/110 kV) door Elia. Daarnaast is Elia in het Vlaamse Gewest ook lokaal transmissienetbeheerder ('plaatselijk vervoersnet', voor de spanningsniveaus van 70 kV tot en met 30 kV). Het net van Elia is een essentiële verbinding tussen de Zuidwest-Europese en de Noordwest-Europese markten. Als netbeheerder zorgt Elia voor een transparante, niet-discriminerende en objectieve toegang tot het net.

De transmissienetten vervullen een unieke rol. Ze bieden via de netten een gemeenschappelijke ondersteuning aan de diverse marktspelers. Het transport van elektriciteit is dan ook een taak van algemeen belang.

De taken en verplichtingen van de netbeheerder zijn wettelijk vastgelegd in de "Elektriciteitswet" (Wet betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt).

Als transmissienetbeheerder heeft Elia drie hoofdopdrachten:

1. Het elektriciteitssysteem beheren. Energie kan niet in grote hoeveelheden worden opgeslagen. Vraag en aanbod moeten steeds in evenwicht zijn. Om een betrouwbare bevoorrading én een efficiënt operationeel beheer van het midden- en hoogspanningsnet te verzekeren, houdt Elia het elektriciteitssysteem in real time onder controle. Daarvoor zijn gesofisticeerde tools, processen en gespecialiseerde kennis vereist. Het beheer van het elektriciteitssysteem wordt echter almaar complexer door een forse toename van hernieuwbare productiebronnen, de opkomst van nieuwe spelers en technologieën én meer supranationale coördinatie.
2. De markt faciliteren. Elia-groep stelt haar infrastructuur op een transparante, niet-discriminerende manier ter beschikking van alle marktspelers. Elia ontwikkelt diensten en mechanismen die de markt in staat stellen om handel te drijven via diverse platformen. Dat bevordert de economische competitiviteit en ieders welzijn.
3. De infrastructuur beheren. In het belang van de maatschappij verzekert Elia het onderhoud én de ontwikkeling van haar hoogspanningsinfrastructuur die almaar grotere hoeveelheden hernieuwbare energie toelaat. Elia integreert innovatieve technologieën om de efficiëntie en de betrouwbaarheid van haar elektriciteitssysteem te versterken. Netaanpassingen gebeuren steeds in overleg met alle betrokken stakeholders. Het beheer van de infrastructuur gebeurt kostenefficiënt én met een sterke focus op veiligheid.

De transmissie van elektriciteit vormt een feitelijk monopolie. Omwille van dat feitelijke monopolie staan de activiteiten van Elia onder het toezicht van de gewestelijke regulatoren (in Vlaanderen de VREG) en een federale regulator (de CREG), afhankelijk van de verdeling van de bevoegdheden inzake

elektriciteit. Die regulatoren zijn verantwoordelijk voor het toezicht op de netbeheerder en staan onder meer in voor het onder controle houden van de kosten.

Als netbeheerder is Elia wettelijk verplicht om aan alle vragen naar transportcapaciteit (zowel van productie als consumptie) te voldoen.

1.2 Basiselementen van het hoogspanningsnet

1.2.1 Inleiding

Om grote hoeveelheden elektriciteit over grote afstanden te kunnen transporteren, wordt gebruik gemaakt van hoge spanningsniveaus. Bij een hogere spanning kan meer energie getransporteerd worden bij een gelijke stroomintensiteit. En een geleider wordt warm als er elektriciteit door stroomt en daardoor treedt er energieverlies op bij het transport. Wanneer een hogere spanning gebruikt wordt, warmen de geleiders minder op en gaat er dus minder energie verloren dan bij een lagere spanning.

Het hoogste spanningsniveau dat in het Belgische netwerk gebruikt wordt is 380 kV. Dat 380 kV-netwerk vormt de ruggengraat van het elektriciteitstransport. Het zijn als het ware de snelwegen van het transmissienet. De netten van 150 kV en lager die Elia beheert vervoeren elektriciteit naar de belangrijke verbruikscentra. De distributienetbeheerders verdelen de energie op lagere spanningen (15 kV en lager) tot bij de KMO's en de gezinnen. Lagere spanningen worden enkel gebruikt voor beperktere hoeveelheden en kunnen vergeleken worden met regionale of lokale wegen.

Het transport tussen de hoogspanningsstations gebeurt via hoogspanningsverbindingen. Bovengrondse verbindingen worden hoogspanningslijnen of luchtlijnen genoemd en worden gebruikt voor de hogere spanningsniveaus. Ondergrondse verbindingen worden hoogspanningskabels of kabelverbindingen genoemd en worden gebruikt voor de lagere spanningsniveaus.

Om van een hoge spanning naar een lagere te gaan, of omgekeerd, zijn transformatoren nodig. Die transformatoren vormen de verbinding tussen netwerken met een verschillend spanningsniveau. De transformatoren staan in transformatorstations opgesteld. Daarnaast bestaan er ook hoogspanningsstations die enkel een schakel vormen in een netwerk van een bepaald spanningsniveau. Dat noemen we schakelstations. Transformatorstations en schakelstations zijn twee types van hoogspanningsstations en op grote hoogspanningssites komen ze beiden samen voor. Een hoogspanningsstation is dus een knooppunt waar de elektriciteit verdeeld wordt over verschillende verbindingen en waar er getransformeerd kan worden tussen verschillende spanningsniveaus.

Het elektriciteitsnet kan je dus vergelijken met een wegennet:

- De hoogspanningslijnen zijn de snelwegen
- De hoogspanningstations zijn de op- en afritten
- De middenspannings- en laagspanningskabels zijn de kleinere lokale wegen

De elektriciteit start op de snelweg, daarna neem je de afslag naar de kleinere weg. En zo ga je door tot je aan het juiste adres bent.

1.2.2 Bovengrondse hoogspanningslijn

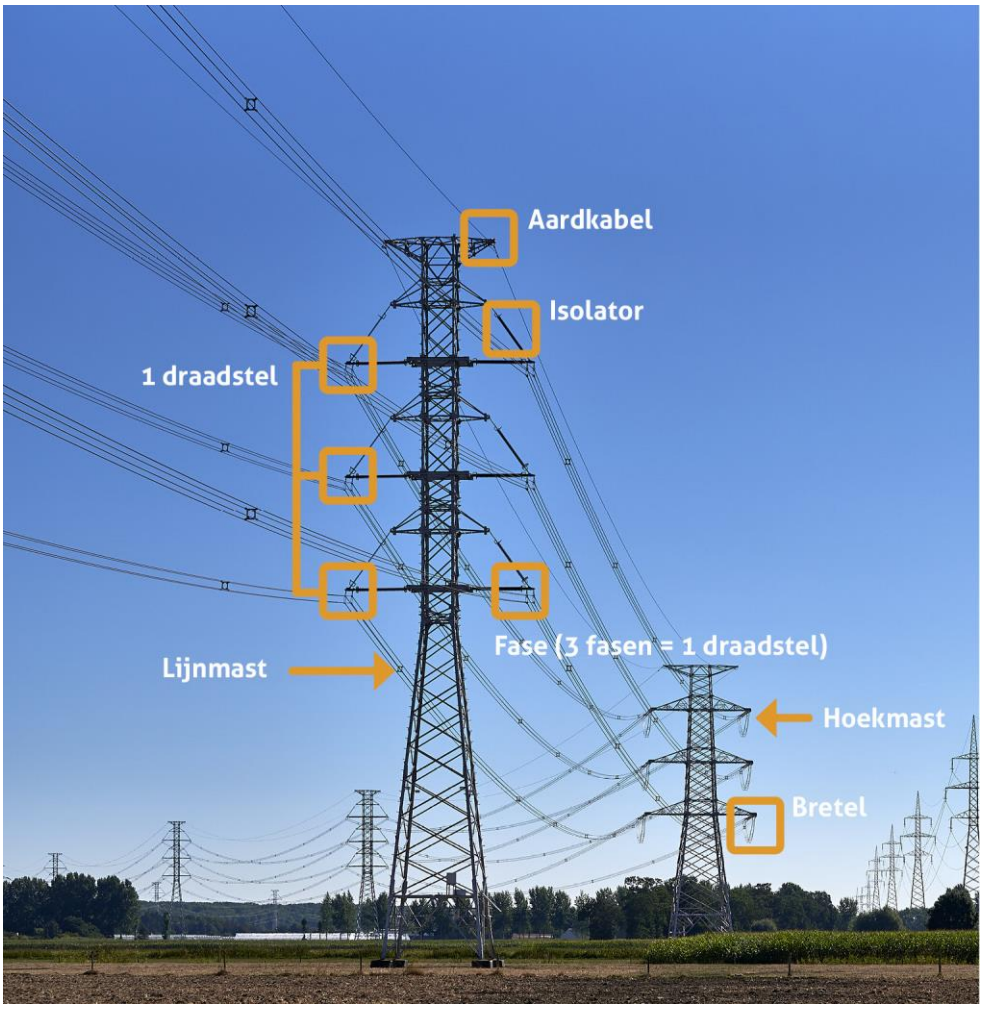
1.2.2.1 Kenmerken

Een hoogspanningslijn bestaat uit geleiders die aan masten opgehangen zijn. De geleiders transporteren de elektriciteit en moeten dus geïsoleerd opgehangen worden aan de mast.

Op de onderstaande figuur worden de verschillende onderdelen van een bovengrondse hoogspanningsverbinding aangeduid ter hoogte van een mast, in dit geval voor het spanningsniveau 380 kV.

Elke elektrische weg (van telkens drie fasen) noemen we een draadstel. Op de foto zijn twee draadstellen aanwezig (links en rechts van de mast). Het hoogspanningsnet is driefasig, waardoor er per draadstel 3 fasen aanwezig zijn: op de foto draagt elke mastarm één fase.

De afstand tussen de fasen en de lengte van de isolatoren wordt bepaald door het spanningsniveau van de verbinding. Hoe hoger het spanningsniveaus, hoe groter de afstanden moeten zijn om veilig te zijn.



De hoeveelheid stroom die een hoogspanningsverbinding kan transporteren wordt bepaald door het type van geleider en het aantal geleiders per fase.

Er bestaan verschillende types geleiders. Hedendaagse geleiders zijn doorgaans opgebouwd uit een aluminiumlegering en worden ook wel AMS-geleiders genoemd (Aluminium-Magnesium-Silicium). Om meer stroom te transporteren, kan in principe de doorsnede van de geleider worden vergroot. Dit is in de praktijk beperkt omwille van het grote gewicht dat de geleiders zouden krijgen.

Een tweede type geleiders zijn de hogeperformantiegeleiders oftewel HTLS-geleiders (High Temperature Low Sag). Die zijn heterogeen opgebouwd: ze bestaan uit een dragende koolstofkern met zeer goede mechanische eigenschappen, met daarrond een speciale aluminiumlegering met zeer goede elektrische en thermische eigenschappen. Dat leidt tot een geleider die minder uitzet doordat de dragende koolstofkern minder uitzet bij hogere temperaturen, en die bovendien een grotere transportcapaciteit heeft ten opzichte van een klassieke geleider. “Low Sag” staat dus voor het minder doorhangen van die geleiders.

De hier getoonde masten zijn compacte 380kV-vakwerkmasten met isolerende mastarmen. De lijnmasten van dit type zijn vergelijkbaar met een klassieke 150 kV-mast met een gelijkaardig, compact mastsilhouet zoals op de onderstaande figuur te zien is. Dat masttype werd geoptimaliseerd op vlak van hoogte en breedte en elektromagnetische velden.

Figuur 1 - Klassieke mast 150 kV vs compacte mast 380 kV

1.2.2.1 Aanlegfase

In het huidige plan-stadium zijn nog niet voldoende details gekend over het Ventilusproject om de exacte werkwijze te bepalen. In wat volgt wordt een algemene beschrijving gegeven van de aanlegfase van een hoogspanningslijn.

De aanleg van een bovengrondse hoogspanningslijn kan algemeen onderverdeeld worden in 4 grote fasen:

- de aanleg van werftoegangen, -zones en -depots;
- de funderingswerken;
- de bouw van de hoogspanningsmasten;
- het bevestigen van de hoogspanningsgeleiders aan de masten.

In het geval van een herbenutting of versterking van een bestaande hoogspanningslijn kan er ook nog een afbraakfase plaatsvinden.

1.2.2.1.1 Aanleg van werftoegangen, -zones en -depots

Als eerste stap worden tijdelijke werftoegangen aangelegd naar de verschillende mastlocaties voor de aan- en afvoer van materiaal en personeel. Deze moeten bereikbaar zijn voor bestel- en terreinwagens maar ook voor kranen, paalboormachines/micropaalmachines, dieplader, betonmixer… Bijkomend

zullen ook zones voor kabeltrek en kruisingen met belangrijke obstakels (zoals andere hoogspanningslijnen of wegen) bereikbaar moeten zijn voor o.a. trek- en remmachines, kranen… Hierbij wordt typisch 1 toegangsweg van ongeveer 5m breed voorzien per locatie.

Figuur 2: Voorbeeld van rijplaten in de werfzone

Ter hoogte van elke mast wordt een werfzone voorzien van ongeveer 50m op 50m rondom de hoogspanningsmast.

Een toegangsweg en werfzone kunnen bestaan uit bijvoorbeeld rijplaten, schotten en/of steenslag om bodemverdichting te vermijden en worden achteraf terug verwijderd. In het geval dat steenslag wordt gebruikt zal de teelaarde afgegraven worden waarna een bitumendoek aangebracht wordt met daarop een laag steenslag. Na de werken wordt het terrein in de oorspronkelijke staat hersteld.

Om na de werken te kunnen vaststellen of er schade aan de omgeving veroorzaakt werd, dient de oorspronkelijke toestand van de omgeving vastgelegd te worden. Dit wordt gedaan door middel van een schriftelijke rapportage aangevuld met foto's en/of video's. Deze staat van bevinding wordt opgesteld samen met de eigenaars en/of grondgebruikers.

Wanneer opgaande vegetatie (bomen en/of struiken) moet worden verwijderd t.b.v. de aanleg van de werkzone, wordt dit indien mogelijk na de werken opnieuw aangeplant. In een bepaalde zone onder de hoogspanningsgeleiders is geen hoog opgaande vegetatie meer toegelaten.

Op een aantal locaties zullen ook werfdepots worden ingericht. Deze locaties dienen voor opslag van materiaal, haspels, installaties van bureaucontainers, afvalcontainers, enz… Voor deze werfdepots wordt eerst nagezien of er bestaande (leegstaande) verharde sites in de buurt van de werken gehuurd kunnen worden. Indien dit niet mogelijk is, dient een terrein ingericht te worden als werfdepot. Deze locaties zullen afgebakend worden (vb. door middel van tijdelijke Heras-hekken of andere omheiningen). Hier zal teelaarde afgegraven worden waarna een bitumendoek aangebracht wordt met daarop een laag steenslag. De werfdepots worden best in de buurt van het lijntraject ingericht zodat hinder voor omwonenden door werfverkeer zo beperkt mogelijk gehouden wordt. De nabijheid van bestaande wegenis is belangrijk zodat het werfdepot gemakkelijk te bereiken is. De depots dienen voldoende groot te zijn zodat het nodige materiaal gestockeerd kan worden. Kleinere lokale werfdepots voor opslag van materiaal en voor het plaatsen van een werfkeet en mobiel toilet kunnen in de buurt van het traject opgericht worden, deze verschuiven mee met de werf en zullen zich in de werkzone bevinden.

1.2.2.1.2 Funderingswerken

Het bouwen van een nieuwe hoogspanningsmast start bij de fundering. Hoogspanningsmasten worden hoofdzakelijk gefundeerd op ofwel oppervlaktefunderingen, één geïsoleerde zoolfundering per mastvoet, ofwel met diepfunderingen, één of meerdere geschroefde kokerpalen of boorpalen per mastvoet.

Gezien de hoge belastingen bij 380 kV masten is men typisch genoodzaakt om te werken met diepfunderingen, 1 of meerdere geïnclineerde boorpalen met grote diameter (ongeveer 75 cm tot 150 cm) per mastvoet. Deze boorpalen zijn opgebouwd uit beton en zijn over de gehele lengte voorzien van een stalen wapeningsbuis.

Een boorpaal wordt gerealiseerd door het inbrengen van stalen buisvormige bekistingelementen met een wriktafel en het simultaan uitgraven van de grond in deze elementen met een “grijpbak”. Van zodra de gewenste diepte bereikt is, wordt de stalen wapeningsbuis in de bekistingvorm geplaatst en de volledige paal gebetonneerd. Tijdens het betonneren worden de recupereerbare bekistingelementen langzaam terug omhoog gebracht, zodat enkel de stalen wapeningsbuis achterblijft. Al deze handelingen gebeuren door eenzelfde boorpaalmachine. Een bemaling is noodzakelijk bij een hoge grondwaterstand.

Figuur 3: Voorbeeld van uitvoering van boorpalen voor een mastfundering

Figuur 4: Dieplader met boorpaalmachine

Het betonneren van de paal zelf gebeurt in 2 fasen. In een eerste fase wordt gebetonneerd tot 3 à 4m onder het maaiveld. Na het uitharden van deze fase worden de verankeringsprofielen (sokkels) van de stalen maststructuur in de holle wapeningsbuizen geplaatst en door een landmeter minutieus afgeregeld. Als de verankeringsprofielen correct geplaatst zijn, worden de wapeningsbuizen verder gebetonneerd tot net onder de bovenzijde van de wapeningsbuis. Dit geheel wordt in een 3e fase afgewerkt met een betonmassief.

Figuur 5: Plaatsen van verankeringsprofielen en realiseren van een bovengronds massief

Versterking van een bestaande hoogspanningslijn

Wanneer op een bestaande mastenrij een bijkomende draadstel of nieuwe geleiders geplaatst worden kan het zijn dat de funderingen ervan versterkt moeten worden om voldoende stabiliteit van de masten te garanderen.

Welk principe toegepast wordt voor deze versterkingen wordt bepaald door de omgeving en beschikbare ruimte, de originele fundering en de toekomstige belastingen. In het algemeen wordt geopteerd voor het versterken van de bestaande fundering door het realiseren van meerdere funderingspalen per mastvoet en een betonmassief dat de nieuwe palen verbindt met de bestaande constructie en instaat voor de nodige krachtenoverdracht. 3 types palen komen in aanmerking voor

deze versterkingen. De mogelijk te gebruiken types zijn afhankelijk van de lokale omstandigheden en vereisten:

- Micropalen: Micropalen worden gerealiseerd door het inboren met behulp van boorwater van stalen wapeningsbuizen in stukken van 1 à 2 m. Deze stukken worden onderling verbonden door een schroefverbinding. Eens de micropaal op diepte is, wordt het boorwater langsheen de micropaal vervangen door een groutinjectie. Dit type paal kan trillingsvrij en geluidsarm worden uitgevoerd.
- Geschroefde kokerpalen: Geschroefde kokerpalen worden gerealiseerd door het inbrengen van een stalen buis door een combinatie van schroeven en drukken. De stalen buis beschikt over een boorpunt en tijdens het inschroeven wordt een groutinjectie via deze boorpunt langsheen de schacht aangebracht. De wapeningsbuis kan in 1 of meerdere stukken worden uitgevoerd. Deze stukken worden dan onderling verbonden door een lasverbinding. Eens de schroefpaal op diepte is, wordt de binnenzijde van de wapeningsbuis tot boven gebetonneerd. De geschroefde kokerpaal werkt grondverdringend en kan trillingsvrij en geluidsarm worden uitgevoerd.
- Boorpalen: zoals hierboven beschreven.

Figuur 6: Versterking van funderingen met micropalen

Na het uitvoeren van de funderingspalen wordt de grond rondom deze palen en de bestaande schacht uitgegraven en een verbindingsmassief in gewapend beton gerealiseerd. Deze massieven worden deels bovengronds uitgevoerd. Indien de omstandigheden het toelaten kunnen deze massieven volledig ondergronds worden uitgevoerd. Dit is afhankelijk van de beschikbare ruimte, aanwezigheid van grondwater, de toekomstige belasting en de geometrie van de bestaande fundering.

Figuur 7: Voorbeeld van versterking van fundering met micropaal

1.2.2.1.3 Bouw van de hoogspanningsmasten

Na de realisatie van de funderingen worden de masten opgericht. Vakwerkmasten bestaan uit vele metalen profielen die geassembleerd worden tot grote aparte stukken van de mast. Deze worden vervolgens op elkaar gestapeld met behulp van kranen. Buisvormige masten kunnen bestaan uit enkele buisvormige elementen die stuk voor stuk opgericht worden met behulp van een kraan.

Figuur 8: Geassembleerde mastdelen in de werfzone

Het aan elkaar bevestigen van deze stukken gebeurt door monteurs die in de mast klimmen. Als laatste worden de armen van de hoogspanningsmast waaraan de kabels komen te hangen aan de mast bevestigd.

De masten worden geschilderd met meerdere lagen verf om deze goed te beschermen tegen o.a. corrosie. De eerste laag verf wordt aangebracht in een daartoe voorzien schildersatelier vóór de oprichting van de masten. De andere lagen verf worden aangebracht nadat alle mast- en lijnwerken op de mast beëindigd zijn.

Versterking van een bestaande hoogspanningslijn

Wanneer op een bestaande mastenrij een bijkomende draadstellen of nieuwe geleiders geplaatst worden kan het zijn dat de krachten op de masten toenemen en dat de masten onvoldoende sterk zijn. Hiervoor zijn er mastversterkingen nodig. Monteurs zullen hiervoor in de masten klimmen om er ijzeren profielen te vervangen of bij te plaatsen. Indien de hoeveelheid profielen die vervangen of bijgeplaatst worden te veel wordt, wordt geopteerd om de mastonderdelen te vervangen door een volledig nieuw gedeelte of zal de mast volledig vervangen worden. Hiervoor zullen kranen ingezet worden om de verschillende mastdelen uit elkaar te halen en om nieuwe geassembleerde mastonderdelen terug te plaatsen.

1.2.2.1.4 Bevestigen van de hoogspanningsgeleiders aan de masten

Bij het plaatsen of vervangen van de draadstellen worden een aantal stappen opeenvolgend doorlopen:

- Aanleg tijdelijke toegangen en werfzone naar de mobiele trekstations.
- Aan de kruisingen van de verbinding met (water)wegen en spoorwegen worden beschermingsportieken, -stellingen of -kranen geplaatst. Ook op de plaatsen waar woningen overspannen worden, worden beschermingsportieken aangebracht. Deze blijven gedurende de gehele fase van het bevestigen van de hoogspanningsleidingen aanwezig en beschermen de passanten en woningen in geval van loskomende kabels tijdens de werken.

Figuur 9: Voorbeeld van beschermingsportieken (links) en beschermingskraan (rechts)

- De isolatoren en afrolwielen worden aan de masten bevestigd. De afrolwielen zijn slechts tijdelijk aanwezig en zijn noodzakelijk als loopwiel voor het trekken van de draden.
- Het trekkoord wordt over de afrolwielen gelegd. Dit gebeurt door het trekkoord aan een helikopter te bevestigen. Deze vliegt vervolgens van mast naar mast waar een monteur de draad vastgrijpt en in het trekwiel bevestigt. Per mast en per trekdraad is de helikopter gedurende een 15-tal minuten aanwezig.
- Aan een uiteinde van het tracé wordt het trekkoord verbonden met een sterkere en dikkere stalen trekkabel. Deze wordt over de trekwielen naar de andere zijde van het tracé getrokken door middel van een mobiel trek- en remstation. De afstand waarover dit kan gebeuren is beperkt tot 2 à 4 km waardoor dit niet over het gehele tracé in 1 keer kan gebeuren en dus in meerdere stappen gewerkt dient te worden.

Figuur 10: Voorbeeld van mobiel remstation (links) en helikopter met trekkoord (rechts)

- De tweede stalen trekkabel wordt bevestigd aan de hoogspanningsgeleider. Deze wordt analoog aan de vorige stap over het tracé getrokken.
- Vervolgens worden de kabels bevestigd aan de isolatoren en worden de trekwielen verwijderd. Hierna kunnen de afstandshouders tussen de verschillende geleiders, vogelkrullen, etc. gemonteerd worden.
- Als laatste stap worden de beschermingsportieken, - stellingen of -kranen verwijderd.

Indien de geleiders vervangen worden, wordt er geen trekkoord getrokken maar wordt de bestaande geleider aan één uiteinde met een trekkoord vastgemaakt aan een mobiel trekstation. Aan het andere uiteinde wordt de nieuwe geleider bevestigd aan de bestaande geleider waarna deze analoog aan de vorige stap over het tracé wordt getrokken.

Op het einde worden alle toegangen en werfzones verwijderd en de aangebrachte schade hersteld.

1.2.2.1.5 Afbraak van bestaande hoogspanningslijnen en/of -masten

Voor de afbraak van een bovengrondse hoogspanningslijn is de aanpak omgekeerd van die van de opbouw. Eerst worden de toegangen tot de masten aangelegd voor aan- en afvoer van materiaal en personeel. Daarna wordt gestart met het verwijderen van de geleiders en de aardkabels. Nadien worden de masten afgebroken met een kraan en verschroot. Bij ruimtegebrek en indien de mastsite het niet toelaat zal de mast deels manueel afgebroken worden. Na afbraak van de masten worden de funderingen geheel of gedeeltelijk verwijderd en wordt de bodem conform de staat van het omliggende terrein hersteld. Standaard wordt de fundering tot 80 cm onder maaiveld verwijderd. Op het einde van de werken worden de toegangen en werfzones verwijderd en wordt de aangebrachte schade hersteld. Bij de afbraak van de hoogspanningsmasten worden maatregelen genomen om te vermijden dat verfschilfers in het milieu terecht komen.

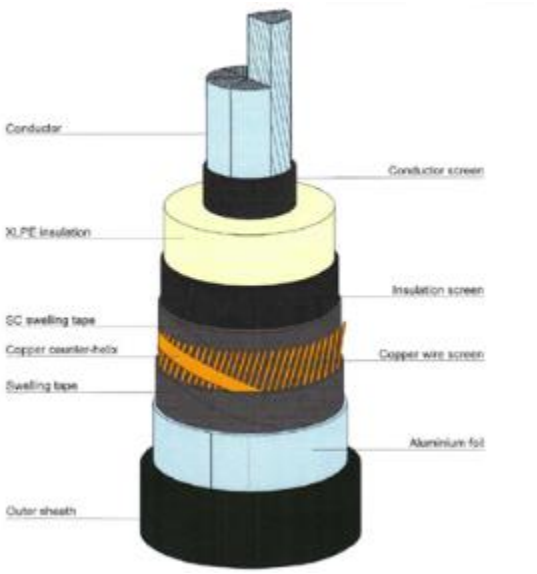
1.2.3 Ondergrondse kabelverbinding

1.2.3.1 Kenmerken

Hedendaagse AC-kabels zijn doorgaans opgebouwd uit een geleidende kern met daarrond een isolerend materiaal bestaande uit cross-linked polyethyleen. Het is de kern waarop hoogspanning zit en waarin de elektrische stroom vloeit. De isolatie dient om de elektrische spanning te isoleren. Hoe dikker de isolatie, hoe hoger het spanningsniveau. De isolatie is bovendien de meest kritische laag bij een ondergrondse kabelverbinding. Elke onzuiverheid die zich in die isolatie bevindt, leidt op termijn tot een defect.

Verder worden er nog verschillende lagen toegevoegd: een aardingsscherm om bij een defect foutstromen af te voeren richting de onderstations, een aluminiumfolie om waterdichtheid van de kabel te verzekeren, en een buitenlaag om de kabel te beschermen tijdens de aanleg.

Figuur 11: Opbouw van een hoogspanningskabel (Bron : Nexans)



Een ondergrondse hoogspanningsverbinding is net zoals een luchtlijn driefasig waardoor er per verbinding 3 ondergrondse fasekabels aanwezig zijn. De 3 fasekabels kunnen in driehoek

("klaverblad") of in horizontale laag gelegd worden. De wijze van aanleg is hoofdzakelijk afhankelijk van de vereiste transportcapaciteit. Hoe meer vermogen een kabel transporteert, hoe meer warmte de kabel produceert die afgegeven wordt aan de omliggende bodem. Om deze warmteafgifte te optimaliseren worden kabelverbindingen niet meer in driehoek, maar in een horizontale laag aangelegd.

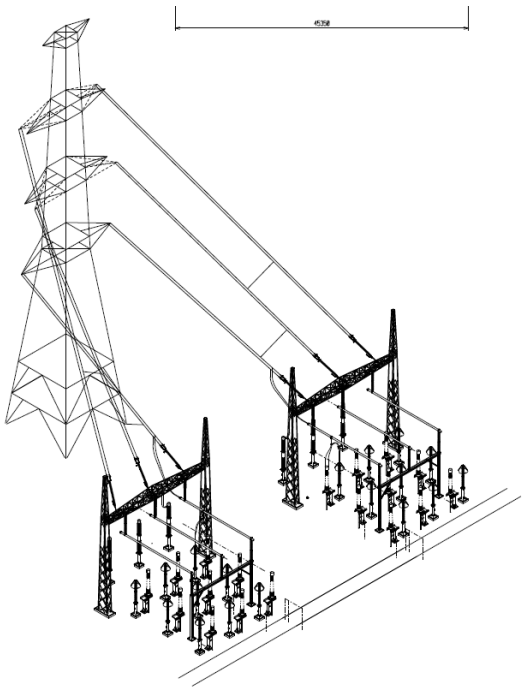
Om de werking van de kabels te garanderen mag de kern van de kabels maximaal een temperatuur van 90°C bereiken. Om dit technisch probleem te vermijden worden ondergrondse hoogspanningskabels in een dolomietbed of een ander warmtegeleidend materiaal aangelegd.

Een ondergrondse 380 kV-verbinding heeft ook een impact op de andere basiselementen.

Enerzijds dient er ter hoogte van de overgang van bovengronds naar ondergronds extra "opstijgpunten" gerealiseerd te worden, waarbij 1 circuit van de bovengrondse verbinding rechtstreeks aangesloten wordt op 3 ondergrondse circuits. Hierbij zijn geen toestellen aanwezig zoals transformatoren omda er geen wijziging van spanningsniveau gebeurt.

De onderstaande figuur toont een dergelijke overgang tussen een bovengrondse en ondergronds verbinding. Hierbij heeft de mast twee circuits (een aan elke zijde) waarbij de drie geleiders van elk circuit afdalen en via isolatoren aangesloten worden op ondergrondse kabels.

Een dergelijk 'opstijgpunt' neemt voor een 380kV-verbinding 0,5 tot 1,5 ha in beslag. Voor een 150kV-verbinding is een beperktere oppervlakte van zo'n 0,1 ha nodig. Deze zone wordt omwille van veiligheidsredenen volledig omheind.



Figuur 12 - Simulatie opstijgpunt (zonder spoelen)

Onderstaande foto toont ter illustratie een opstijgpunt voor een 150kV-verbinding. Deze is kleiner en iets eenvoudiger samengesteld dan hoe een opstijgpunt voor een 380kV-verbinding er uit zal zien.

Anderzijds dient er extra infrastructuur geïnstalleerd te worden om de elektrische effecten van die ondergrondse verbinding te compenseren, zijnde spoelen (of “shuntreactoren”) en filters. Spoelen zorgen voor de compensatie van de reactieve en dus onnuttige energie die opgewekt wordt door ondergrondse kabelverbindingen, waardoor de spanningsstijging veroorzaakt door de kabels beperkt blijft.

De onderstaande figuur toont een spoel.

Figuur 13 – Spoel of shuntreactor 380 kV

De filters zijn installaties die de ongewenste signalen of ruis wegfilteren, die kunnen voorkomen bij het toepassen van langere ondergrondse verbindingen. Een filter bestaat uit een combinatie van spoelen en condensatorbatterijen (capaciteiten).

1.2.3.1 Aanlegfase

De aanleg van kabels kan gebeuren in open sleuf, via gestuurde boringen of in een tunnel. De aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding gebeurt normaal gezien zoveel mogelijk in open sleuf. Op plaatsen waar obstakels, zoals bepaalde wegen, waterwegen of waterlopen, gekruist worden die niet gedurende lange tijd onderbroken kunnen worden, kan de aanleg via een tijdelijke sleuf met wachtbuizen, een gestuurde boring of in tunnels gebeuren.

1.2.3.1.1 Aanleg in open sleuf

Voor de aanleg in open sleuf worden volgende stappen doorlopen:

- Alvorens de sleuf te graven wordt het terrein voorbereid. Het traject en de werkzone worden uitgezet. Alle werkzaamheden moeten binnen de werkzone uitgevoerd worden.
- De aanwezige plannen van de nutsleidingen worden bij de verschillende instanties opgevraagd. Deze planaanvraag is slechts 6 maanden geldig. Hierna dient een nieuwe planaanvraag te gebeuren. Op plaatsen waar er twijfel is over de juiste ligging van de bestaande leidingen, worden proefsleuven gegraven om de exacte locatie van deze kabels of leidingen te controleren.
- Om na de werken te kunnen vaststellen of er schade aan de omgeving veroorzaakt werd, dient de oorspronkelijke toestand van de omgeving vastgelegd te worden. Dit wordt gedaan

door middel van een schriftelijke rapportage aangevuld met foto's en/of video's. Deze staat van bevinding wordt opgesteld samen met de eigenaars en/of grondgebruikers.

- Wanneer opgaande vegetatie (bomen en/of struiken) moet worden verwijderd t.b.v. de aanleg van de werkzone, wordt dit na de werken opnieuw aangeplant. In de zone die ingenomen wordt door de hoogspanningskabels is geen diepwortelende vegetatie meer toegelaten.
- De werkzone wordt door middel van een fysieke omheining afgebakend. Dit kan gebeuren door het maken van taluds bestaande uit uitgegraven grond, of andere fysische omheining.
- Voor trajecten buiten de openbare weg (cross country) dient een toegangsweg aangelegd te worden. Voor het aanleggen van de toegangsweg worden meestal ofwel met stalen rijplaten plaatst, ofwel toegangswegen met steenslag aangelegd. Bij deze laatste wordt eerst een laag teelaarde afgegraven. Op een aantal plaatsen zullen deze toegangswegen uitkomen op de openbare weg.
- Indien de toegangswegen grachten of beken kruisen moeten hiervoor tijdelijke bruggen of doorgangen aangelegd worden. Voor beken en brede grachten wordt een tijdelijke brug aangebracht. Kleine grachten worden tijdelijk ingebuisd en rond de buis aangevuld met grond. Hierboven worden rijplaten of houten schotten aangebracht om deze overrijdbaar te maken.
- Op een aantal locaties zullen werfdepots ingericht worden zoals ook beschreven in paragraaf 1.2.2.1.1.
- Indien het grondwaterpeil zeer hoog staat dient vooraf een grondbemaling langs of in de sleuf aangebracht te worden.
- Vervolgens starten de graafwerken waarbij de teelaarde en de dieper gelegen gronden gescheiden van elkaar naast de sleuf worden gestockeerd. Dit is het geval waar de verbinding in weiden, akkers enz. in open sleuf gegraven wordt. Waar dit niet kan dienen de uitgegraven gronden naar een tijdelijke verzamelplaats gestockeerd te worden. Overtollige gronden (van de ondergrond) worden definitief afgevoerd conform de wetgeving op het grondverzet.
- Voor het kruisen van obstakels zoals rijwegen, waterlopen, spoorwegen enz. worden speciale kruisingen voorzien in bv. een tijdelijke open sleuf met wachtbuizen, gestuurde boringen of tunnels;
- De bodem van de open sleuf krijgt een gecontroleerde thermische aanaarding. Hierbij wordt de aanwezige grond vervangen door een thermisch beter geleidend materiaal (vb. dolomietbedding). Dit materiaal zorgt voor de goede afvoer van de warmte die de (geïsoleerde) hoogspanningskabels produceren.
- Vervolgens worden de hoogspanningskabels getrokken. De kabelhaspel wordt op een kabelblok opgesteld aan het begin van een sleufdeel. Met behulp van een treklier aan het einde van dit sleufdeel en verschillende kabeltrekmachines en kabelrollen, die in deze sleuf opgesteld staan wordt de kabel afgerold richting de eindlocatie. De kabels worden uit de kabeltrekmachines en van de kabelrollen gehaald en op hun definitieve plaats gelegd. De exacte ligging van de kabels wordt dan topografisch opgemeten.

Figuur 14: Voorbeeld van de werfzone ondergrondse kabels 380kV

- Bovenop de kabels wordt een 2de laag gecontroleerde thermische aanaarding voorzien (vb. dolomietbedding) met dezelfde warmte-afvoerende functie.
- Daarbovenop komen beschermingstegels in polyethyleen te liggen.
- Vervolgens worden meerdere telecommunicatiekabels in glasvezel voorzien.
- Nadien wordt de sleuf verder aangevuld met de uitgegraven gronden met respect voor het onderscheid tussen de onderlaag en de teelaarde. De aanvulling gebeurt in verschillende lagen die telkens aangedamd worden.
- Nadien wordt het terrein terug in oorspronkelijke staat hersteld met uitzondering van het terugplaatsen van bomen en diepwortelende struiken bovenop de sleuf.
- De aanleg van de verbinding gebeurt in verschillende deellengtes +/- 1000m
- Voor het maken van de cross-bonding (waarbij op een gecontroleerde wijze verbindingen gemaakt worden tussen de isolerende delen van de verschillende kabels) en het aarden, dienen verschillende putten te worden geplaatst zoals
    - Mofputten om de verschillende deellengtes met elkaar te verbinden
    - Inspectieputten en putten met installaties voor het monitoren van kabelverbinding (zoals partiële deelontlading).
- Na de installatie worden ook deze putten aangevuld conform aan de opbouw van een normale sleuf.
- De verbindingen worden gemarkeerd conform het AREI (merkstenen en/of –paaltjes).
- Op het einde worden alle toegangen, werfzones en –depots verwijderd en wordt de aangebrachte schade hersteld.

Bij een 380kV- of 220kV-verbinding worden de mofputten afgedekt met betonnen putdeksels van ongeveer 2x2m per circuit. Daarnaast kunnen nog een of meerdere deksels aanwezig zijn voor

meetapparatuur. De verschillende putdeksels van een verbinding worden gezamenlijk omheind. Voor een 380kV-verbinding betekent dit een afgebakende zone van ongeveer 15x15m.

Om een functionerende cross-bonding te bekomen moeten de lengtes van drie opeenvolgende kabelsegmenten dezelfde lengte hebben. De locaties van de mofputten en inspectieputten worden dus bepaald door de lengte van de kabelsegmenten. Het verplaatsen van 1 put zorgt voor een kettingreactie doordat de drie gelijke segmentlengtes wijzigen en minimaal ook de drie daarop aansluitende segmenten. De verplaatsing van 1 put leidt dus tot de automatische verplaatsing van minimaal 6 putten. Hierdoor zijn de putten niet verschuifbaar naar perceelsranden of dergelijke.

Figuur 15: Voorbeeld van mof- en inspectieputten tijdens en na de aanlegfase voor een 380kV-verbinding met 4 circuits

1.2.3.1.2 Uitvoeren van gestuurde boringen

Op plaatsen waar de hoogspanningsverbinding grote wegen, grote beken of grachten kruist, kunnen HDPE wachtbuizen aangelegd worden door middel van gestuurde boringen.

Figuur 16: Voorbeeld van een werfinrichting voor een gestuurde boring

Voor het uitvoeren van de horizontaal gestuurde boringen zal er een werkzone ingericht worden met stalen rijplaten of een bitumen met steenslag. Hierna zal een boorinstallatie opgesteld worden met toebehoren.

Een boorinstallatie bestaat typisch uit:

- Een Rig (boormachine)
- Mix Pompunit
- Recycling unit
- Materiaalcontainers
- Modderpompen en containers
- Werfkeet
- Opslagplaats voor bentoniet

De aanleg van kabels met een gestuurde boring bestaat uit verschillende fasen. Eerst wordt met een stuurbare boorkop een klein boorgat gemaakt vanaf het intredepunt, onder het te kruisen object door richting het uittredepunt. In de 2e fase wordt dit gat vergroot door er in verschillende stappen ruimers door te trekken. In de 3e fase, na het ruimen van het boorgat, kunnen de HDPE buizen in het boorgat getrokken worden.

Bij al deze fasen wordt boorvloeistof onder druk in het boorgat gepompt. Deze boorvloeistof heeft 2 doelen: het transport van de losgeboorde grond en het ondersteunen van het boorgat zodat dit niet invalt.

De boorvloeistof die gebruikt wordt is een mengsel van bentoniet met zand en water. Bentoniet is een natuurproduct (een type van klei) en heeft geen nadelige effecten op het milieu. Overtollige boorvloeistof wordt opgevangen in containers, gezuiverd en hergebruikt.

De HDPE (High Density Polyethyleen) buizen worden aan elkaar gelast en worden aan het uittredepunt, in het verlengde van het boorgat, klaargelegd over eenzelfde lengte als de lengte van de gestuurde boring. Er dient aan dit uittredepunt voldoende plaats te zijn om deze buizenstreng klaar te leggen. De HDPE-buizen worden vervolgens door het boorgat getrokken.

Nadat de HDPE-buizen door het boorgat getrokken zijn worden de hoogspanningskabels door deze HDPE buizen getrokken en wordt de ruimte aan het einde van de buis tussen de buis en de hoogspanningskabel afgedicht.

De belangrijkste randvoorwaarden voor het uitvoeren van gestuurde boringen zijn de grondgesteldheid en de grondwaterstand. De belasting op de buizen bij het intrekken mag niet te groot zijn en bij zeer grote plaatsingsdiepte met een hoge grondwaterstand bestaat er implosiegevaar van de HDPE buizen.

Bovendien moet er rekening gehouden worden met de maximale krommingsstraal van de boorstangen. Hoe zwaarder de machine die ingezet moet worden, hoe sterker de boorstangen dienen te zijn en des te groter de krommingsstraal.

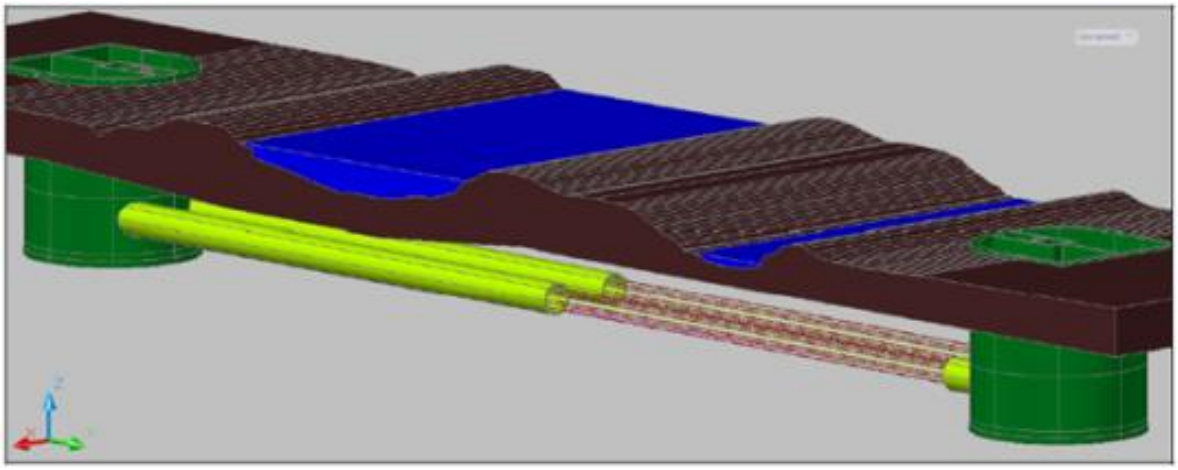
1.2.3.1.3 Aanleg in tunnels

Ook het plaatsen van hoogspanningskabels in tunnels is mogelijk, dit wordt meestal pas toegepast indien het plaatsen van een gestuurde boring niet mogelijk is. Een aantal factoren die deze keuze beïnvloeden zijn:

- de benodigde diepte voor een kruising;
- het aantal en type hoogspanningskabels;
- de beschikbare ruimte om de kruising uit te voeren, zowel naar breedte van het traject als de uitvoeringsdiepte en de uitvoeringstechniek;
- de aard van de bodem (zowel belangrijk voor de uitvoeringstechniek als voor de noodzakelijke koeling van de hoogspanningskabels).

De uitvoeringsmogelijkheden zijn heel afhankelijk van de locatie en omstandigheden. In wat volgt wordt algemeen beschreven wat de realisatie zou kunnen inhouden.

Leidingentunnels zullen typisch bestaan uit 2 of meer volledig gescheiden geperste buizen met een gemeenschappelijke vertrek- en ontvangstput zodat de verschillende kabelcircuits onafhankelijk van elkaar uitgebaat kunnen worden. Aan beide zijden zal eveneens een bovengrondse technische ruimte worden voorzien boven de schachten.



Figuur 17 Schematische voorstelling van een tunnel

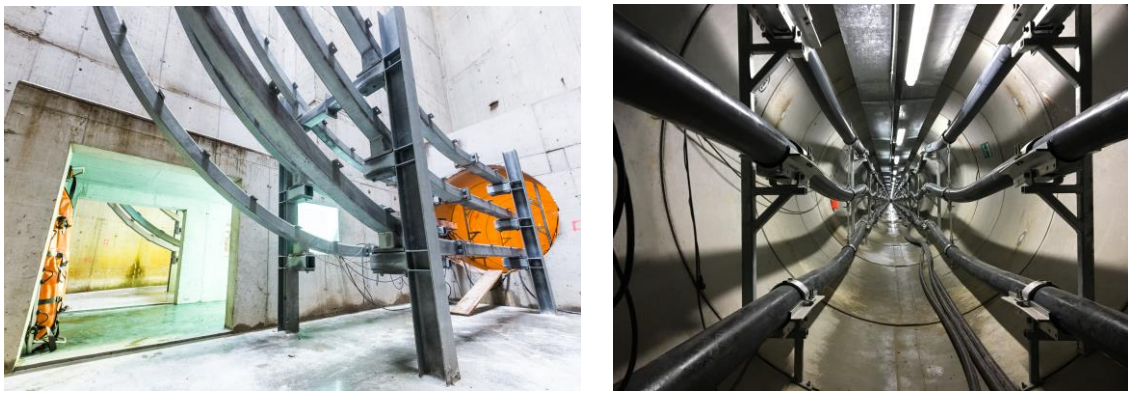
In een 1e fase worden de vertrek- en ontvangstput(ten) gerealiseerd. Dit kan gebeuren door het afzinken van ringvormige betonnen elementen. Het eerste element beschikt onderaan over een snijschoen om een betere snijding doorheen de grond te garanderen. Het eigengewicht en simultaan uitgraven langs de binnenzijde van de ringen zorgt voor het geleidelijk zakken van de constructie. Van zodra de gehele constructie op diepte is, wordt deze versterkt tegen opdrijven door het plaatsen van trekpalen rondom de constructie en door een ringbalk met de schacht te verbinden. Na het storten van een bodemplaat in onderwaterbeton, is de constructie waterdicht.

In de 2e fase wordt de persinstallatie in de vertrekschacht neergelaten en worden de horizontale tunnels gerealiseerd. Deze horizontale tunnel is ook opgebouwd uit geprefabriceerde buiselementen. De perstechniek is een combinatie van grondontname aan het boorfront en persen met hydraulische vijzels vanuit de vertrekschacht.

Na het uitvoeren van beide persingen, wordt de binnenstructuur van de schachten gerealiseerd, de nodige kabeluitrustingen aangebracht en de hoogspanningskabels geplaatst.

De 3e en laatste fase omvat het realiseren van bovengrondse constructie voor toegang tot de tunnel, eventuele technische lokalen op de schachten, wegeniswerken, plaatsen van afsluitingen en beplantingen en de terreinafwerking.

Voor het uitvoeren van een tunnel zal er ter hoogte van de schachten een werkzone van +/- 1ha ingericht worden.



Figuur 18: Leidingentunnel onder het Boudewijnkanaal (Stevin-project)

1.2.4 Hoogspanningsstation

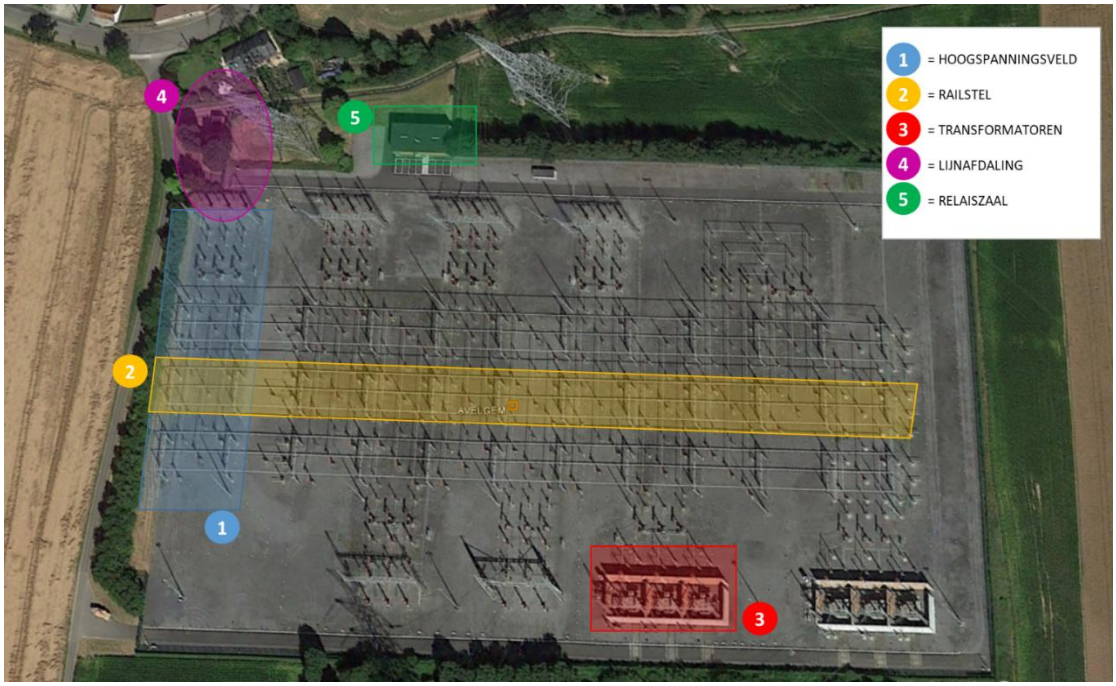
1.2.4.1 Kenmerken

Een hoogspanningsstation is een knooppunt in het hoogspanningsnet waar de elektriciteit verdeeld wordt over verschillende verbindingen en waar getransformeerd kan worden tussen verschillende spanningsniveaus.

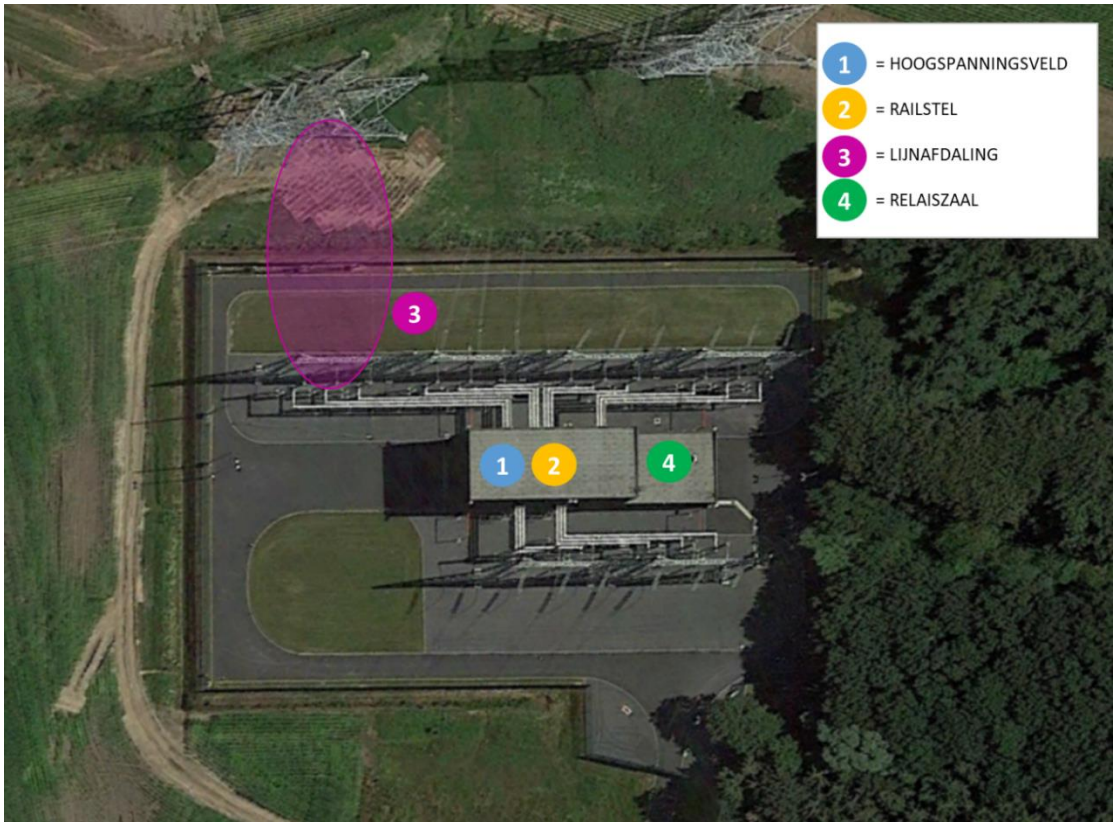
Een hoogspanningsstation is opgebouwd uit verschillende velden die aangesloten zijn op één, twee of drie gemeenschappelijke railstelsels. Dat kan vergeleken worden met het verdeelbord bij je thuis. Op een veld kan een transformator, een ondergrondse kabel, een luchtlijn of een ander hoogspanningselement worden aangesloten. Een veld heeft als belangrijkste functies het beveiligen en het aan- en afschakelen van het aangesloten hoogspanningselement (zoals een elektrische zekering).

Doorgaans worden 2 types hoogspanningsstation gebruikt: AIS en GIS. AIS (Air Insulated Stations) staat voor luchtgeïsoleerde onderstations, de zogenaamde buitenposten. GIS (Gas Insulated Stations) staat voor gasgeïsoleerde onderstations. Hier zijn alle functionele elementen in een omsloten geheel ondergebracht, dat met gas (doorgaans SF6) geïsoleerd is. Door het grotere isolatievermogen tegenover lucht kunnen die installaties aanzienlijk kleiner uitgevoerd worden, zodat het geheel veel minder plaats inneemt. Dergelijke installaties worden meestal ondergebracht in een gebouw.

Hieronder zijn een aantal afbeeldingen toegevoegd van een hoogspanningsstation in AIS en GIS met daarop de verschillende onderdelen aangeduid.



Figuur 19 - Onderdelen hoogspanningsstation type AIS (luchtgeïsoleerde schakelapparatuur)



Figuur 20 - Onderdelen hoogspanningsstation type GIS (gasgeïsoleerde schakelapparatuur) – opgesteld in een gebouw

Vermogenstransformatoren zijn nodig om de spanning te transformeren, dit wil zeggen de spanning van één bepaald net (bv. 380 kV) omzetten naar die van een ander net (bv. 150 kV) en dat met een hoog rendement (> 99 %). Ze worden opgesteld op een vloeistofdichte kuip en omringd door geluidsmuren zodat steeds aan de geldende geluidsnormen kan voldaan worden.

Figuur 21 - Transformator 220/380 kV

Een andere type transformatoren zijn dwarsregeltransformatoren (of PST – Phase Shifting Transformers). Deze transformatoren zijn de 'regelknoppen' van het elektriciteitsnet waarmee de netbeheerder kan bepalen hoeveel stroom er door elke verbinding loopt. Ze zorgen voor een gelijkmatige verdeling van de stroom tussen verschillende grote hoofdstransportverbindingen.

1.2.4.1 Aanlegfase

In onderstaande paragrafen wordt een algemen beschrijving gegeven van de verschillende activiteiten binnen de aanlegfase van een hoogspanningsstation. Niet alle activiteiten zullen steeds nodig zijn en het is ook mogelijk dat bij de verdere uitwerking van het project andere, niet beschreven, activiteiten noodzakelijk zijn.

1.2.4.1.1 Voorbereiding van het terrein

Alvorens de bouw van een nieuw hoogspanningsstation van start gaat wordt het terrein volledig voorbereid:

- Het terrein wordt vlak genivelleerd tot op een peil dat bepaald wordt door analyse van de topografische opmetingen van de site en zijn omgeving. Het afgewerkt peil van het onderstation wordt zorgvuldig gekozen, rekening houdend met de niveaus van de omliggende terreinen, en wel zodanig dat er geen risico bestaat dat het onderstation onder water zou kunnen komen te staan.
- Wanneer de nivellering ook verplaatsingen van aarde met zich meebrengt, worden de verschillende grondsoorten gesorteerd uitgegraven en zo nodig tijdelijk gestockeerd, zo ook de teelaarde die bestemd is voor latere aanplantingszones. Alleen de grond die niet kan worden hergebruikt voor ophoging, wordt onmiddellijk conform de wetgeving, afgevoerd.
- Waar nodig worden bomen en beplanting verwijderd voor de opbouw van het onderstation. Mogelijks moeten er ook afbraakwerken plaatsvinden van bestaande gebouwen of installaties. Alle afbraakmaterialen die niet opnieuw moeten worden gebruikt, worden onmiddellijk van de site afgevoerd. De verwijdering en de storting van deze materialen gebeuren volgens de van kracht zijnde wetgeving en reglementering.
- De aanwezige plannen van de nutsleidingen worden bij de verschillende instanties opgevraagd. Op plaatsen waar er twijfel is over de juiste ligging van de bestaande leidingen, worden proefsleuven gegraven om de exacte locatie van deze kabels of leidingen te controleren. Indien nodig is het mogelijk dat deze verplaatst worden in samenwerking met de beheerders van betrokken leidingen.
- Op het terrein wordt een werfdepot ingericht. Onder werfdepot verstaat men de opslag van materiaal, installatie van materiaalcontainers, bureaucontainers, afvalcontainers, enz…. .

1.2.4.1.2 Bouwkundige werken: Gebouwen, funderingen, inkuipingen

Voor de realisatie van o.a. de gebouwen en hoogspanningsinstallaties worden funderingen voorzien:

- Indien nodig worden dieptefunderingen voorzien. De keuze en de aanzet van het type dieptefunderingen is afhankelijk van de kwaliteit van de ondergrond. Het draagvermogen van de ondergrond wordt tijdens de studiefase bepaald d.m.v. een grondonderzoek. Bij voorkeur

wordt voor de diepfunderingen gebruik gemaakt van trillingsvrije schroefpalen om de hinder voor de omgeving zoveel mogelijk te beperken.

- Indien het grondwaterpeil te hoog staat en een uitvoering in droge bouwput in de weg staat, wordt een bronbemaling voorzien. Deze bemaling wordt zodanig gedimensioneerd dat risico op mogelijke schade voor omliggende constructies wordt vermeden.
- De bouwput wordt uitgegraven, indien mogelijk onder natuurlijk talud. Zo nodig worden de nodige beschoeiingen aangebracht.

Na het aanbrengen van een werkvloer, worden de vloerplaat, en of eventuele zoolfunderingen (afhankelijk van het type gebouw) gestort in gewapend beton. De vloerplaat en de wanden van de kelder worden in waterdicht beton uitgevoerd. De betonnen skeletstructuur wordt opgebouwd waarna de gevelafwerking wordt gerealiseerd. Het type gevelafwerking en de kleur kunnen gekozen worden in functie van de omgeving om een maximale integratie na te streven. De realisatie en montage van het gebouw wordt uitgevoerd met behulp van een vaste of mobiele hijskraan. Het ter plaatse gestorte beton wordt aangevoerd met betonmolens en zo nodig ter plaatse gebracht met betonpompen.

In het geval van een AIS-onderstation worden de funderingen van de hoogspanningstoestellen in de velden opgebouwd uit lokale funderingsmassieven. De metalen steunen waarop de hoogspanningsinstallaties worden aangezet worden d.m.v. ankerbouten op de funderingen vastgezet.

Bij GIS-onderstations zijn de hoogspanningsinstallaties geïntegreerd in gebouwen. De verbinding tussen de velden en de transformatoren of lijnaankomsten kan uitgevoerd worden uitgevoerd door middel van GIB-verbindingen (Gas Insulated Busbars). De buizen worden ondersteund door metalen vakwerken waarvoor eveneens afzonderlijke massieven voorzien worden.

Inkuiping van transformatoren en shunt reactoren

Transformatoren en eventuele shunt reactoren worden gezien hun omvang en de nood aan koeling buiten opgesteld. Zij worden opgesteld op funderingen van gewapend beton die zodanig zijn ontworpen dat zij tezelfdertijd dienst doen als olieopvang.

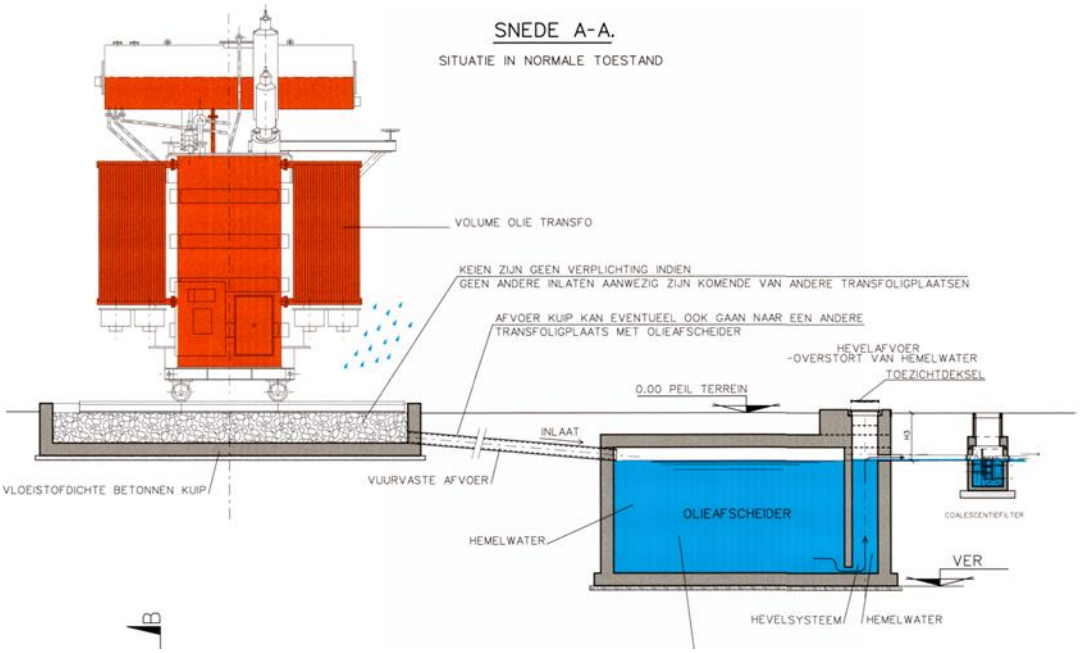
Na uitgraving van de bouwput met graafmachines worden de funderingen van gewapend beton ter plaatse gerealiseerd, bestaande uit funderingsbalken waarop de transformatoren/shuntreactoren worden opgesteld, gecombineerd met een plaat of kuip van gewapend beton die moet zorgen voor de olieopvang. De aanvoer van bekistingen en wapeningen gebeurt met een vaste of mobiele hijskraan. Het ter plaatse te storten beton wordt aangevoerd met betonmolens, eventueel in combinatie met het gebruik van betonpompen

Afhankelijk van het draagvermogen van de ondergrond wordt het geheel al dan niet aangezet op diepfunderingen.

De ligplaatsen van deze toestellen zijn ofwel uitgerust met een opvangplaat ofwel uitgerust met een opvangkuip. De opvangplaat is zodanig gedimensioneerd dat zij minstens de oppervlakte van de transformator/reactantie omsluit. Zij wordt via een vuurvaste rioleringsleiding verbonden met een olieopvangkuip die zich ofwel onder een andere transformator of shunt reactor kan bevinden of die een afzonderlijke kuip kan zijn.

De olieopvangkuip is uitgerust met een hevelsysteem (betonnen scheidingswandje in de kuip of T-vormige vuurvaste buis) die in geval van calamiteit de scheiding maakt tussen de opgevangen olie en het hemelwater. Het beschreven systeem werd destijds getest door het VITO. De olieopvangkuip is zodanig gedimensioneerd dat het olievolume van het grootste daarop aangesloten toestel kan worden opgevangen.

De overloop van het systeem wordt supplementair aangesloten op een prefab coalescentiefilter die over de nodige certificaten beschikt en kan waarborgen dat de lozingsnormen voor koolwaterstoffen niet zullen worden overschreden. Deze filter wordt geplaatst op dezelfde wijze als een prefab-toezichtkamer (uitgraving met graafmachine, plaatsing in zandbed, aanvulling rondom de filter). De coalescentiefilter is tevens uitgerust met een beperkt opvangvolume, een vlottersysteem en een afsluiter die ervoor zorgt dat het systeem wordt afgesloten indien dit volume vol met olie zou komen te staan.



Figuur 22: Schematische weergave van een inkuiping van een transformator

1.2.4.1.3 Riolering en terreinafwerking

We onderscheiden 3 soorten rioleringen in onderstations, nl.

- de hemelwaterriolering (regenwater);
- de huishoudelijke afvalwaterriolering (afvalwater van toilet, handwasbak, en eventuele uitgietbak);
- de riolering van het olieopvangsysteem van transformatoren en reactanties.

De nodige riolering wordt aangelegd voor de verschillende installaties en gebouwen volgens de relevante voorschriften en wetgeving.

Verder zal het terrein ook afgewerkt worden, typisch met een grindlaag van ongeveer 10cm. Deze zal aangevoerd worden door vrachtwagens en wordt uitgespreid d.m.v. bulldozers en kleine graafmachines in de zones die minder toegankelijk zijn.

Om de aanvoer van het hoogspanningsmateriaal toe te laten, en later het onderhoud te doen zijn toegangswegen nodig.

In de omtrek van het onderstation wordt vaak een groenzone aangelegd. Daartoe wordt vooreerst een laag teelaarde voorzien (uitgespreid met graafmachine). De beplanting wordt zodanig gekozen dat een groenscherm wordt bekomen. Hierbij wordt rekening gehouden met plaatselijke opleggingen zoals het gebruik van streekeigen beplantingen. De beplanting wordt manueel aangeplant en de bodem wordt afgewerkt met een laag boomschors om het onderhoud te beperken.

1.2.4.1.4 Hoogspanningsmontage

GIS-installaties

De GIS-installaties worden in het gebouw gemonteerd. De velden worden in hun geheel of in verschillende modules getransporteerd (uitzonderlijke transport) en nadien in het gebouw samengevoegd. Tijdens het transport is er geen SF6 aanwezig in de GIS-velden. De installaties worden pas na volledige montage gevuld met SF6-gas.

In het gebouw wordt typisch een rolpoort voorzien voor het binnenbrengen van de GIS-installatie. Indien nodig wordt er een platform opgebouwd aan de zijkant van het gebouw zodat de verschillende modules door middel van een rolwagen het gebouw kunnen binnenrollen. Het geheel van platform en module wordt door middel van een kraan gehesen tot op de hoogte van de rolpoort. Van daaruit kan de module binnengerold worden.

Eens de cellen geleverd zijn wordt de volledige montage in het gebouw uitgevoerd. De uitvoeringstermijn is afhankelijk van het aantal velden.

Figuur 23: Binnen brengen van een GIS-installatie

AIS-installaties

AIS-installaties worden in openlucht gemonteerd door de elektrische aannemer. De veiligheidsafstanden gespecificeerd in het KBEI worden gerespecteerd. In geval van een greenfield kan de montage van de volledige installatie spanningsloos plaatsvinden.

Transformatoren en shunt reactoren

Transformatoren en shunt reactoren zijn van dergelijke grootte dat de levering van deze toestellen met uitzonderlijk transport dient te gebeuren. Om het gewicht bij transport zoveel mogelijk te beperken worden deze pas gevuld met olie na de levering.

Vaak gebeurt de levering eerst per schip of trein en daarna verder naar de plaats van bestemming via een oplegger. De onderstaande figuurn geven een beeld van het uitzonderlijk transport voor een deel van een dwarsregeltransformator.

Figuur 24: Transport van een dwarsregeltransformator over de openbare weg en het lossen op het hoogspanningsstation

1.2.4.1.5 Laagspanningsmontage

In de relaiszaal wordt door de elektrische aannemer de nodige laagspanningsapparatuur geïnstalleerd. De apparatuur wordt volledig spanningsloos aangesloten en nadien getest. De

laagspanningsapparatuur omvat o.a. de beveiligingen van de verbindingen en hoogspanningsinstallaties, de teletransmissie en de meet- en controleapparatuur.

Figuur 25: Laagspanningsapparatuur in de relaiszaal

1.3 Vereisten van het hoogspanningsnet

De uitbating, het onderhoud en de ontwikkeling van het hoogspanningsnet kent een groot aantal randvoorwaarden. Globaal gezien zijn die in te delen in:

- Betrouwbaarheid
- Betaalbaarheid
- Duurzaamheid

1.3.1 Betrouwbaarheid

De quasi continue beschikbaarheid van elektriciteit voor alle Belgische netgebruikers is een essentiële vereiste van het hoogspanningsnet. Een onderbreking van de bevoorrading op het hoogspanningsniveau heeft immers onmiddellijk grote gevolgen voor de bevoorrading van de distributienetbeheerders en grote (industriële) klanten.

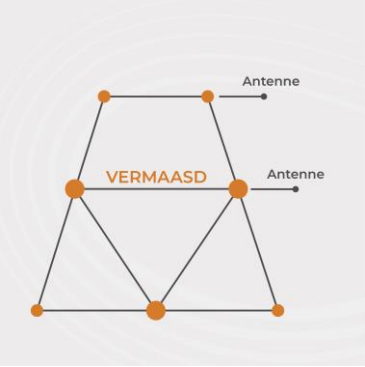
Op jaarbasis is het hoogspanningsnet 99,999 % van de tijd beschikbaar en gemiddeld slechts enkele minuten onbeschikbaar. De lay-out van het netwerk is ontworpen in functie van het bekomen van die hoge beschikbaarheid en het behouden hiervan is een streefdoel in de dagelijkse activiteiten van de netbeheerder.

De hoge netbeschikbaarheid is te danken aan een groot aantal factoren, waaronder:

- Tijdig vervangen van oude infrastructuur
- Continue monitoring van het netgedrag
- Gebruik van mature technologie
- Hoge eisen naar structurele stabiliteit van infrastructuur
- Redundantie voor netelementen

Voor het beoogde ruimtelijk uitvoeringsplan is de redundantie een aspect dat bijkomende toelichting vereist. Een verbinding in het hoogspanningsnet bestaat uit 1 of meerdere circuits. Het hoogspanningsnet moet in alle omstandigheden veilig kunnen worden uitgebaat. Ook tijdens een ingepland onderhoud en/of bij een onverwacht incident moet het net blijven functioneren. Het

principe hierbij is dat het uitvallen van 1 netelement geen probleem mag opleveren voor de netstabiliteit. Dat wordt aangeduid als een “N-1-situatie”[1]. Voor een hoogspanningslijn betekent dat bijvoorbeeld dat er twee draadstellen[2] geplaatst worden die elk voldoende capaciteit hebben om de benodigde transportcapaciteit te leveren. Als één van de draadstellen uit dienst genomen moet worden voor onderhoud, kan het andere draadstel instaan voor het transport.



Daarnaast wordt voor belangrijke verbindingen, zijnde verbindingen die veel capaciteit vervoeren, voorzien in een redundantie op het niveau van volledige verbindingen. Immers de plotse uitval van dergelijke verbindingen zal niet alleen lokaal een probleem genereren maar kan een belangrijke impact hebben op het volledige Europees geïnterconnecteerd net. Om de uitbouw van een robuust net op een efficiënte manier mogelijk te maken, is de structuur van het net daarom “vermaasd”. Zo vermijden we “antennes”. Daarmee bedoelen we geen zendinstallatie maar een verbinding die de enige verbinding vormt voor een hoogspanningsstation of productie-eenheid, als het ware een doodlopende straat. Als er een incident is op één van de verbindingen of een verbinding volledig in onderhoud is, dan zorgt de vermaasde structuur ervoor dat de elektriciteit via de beschikbare circuits over het geheel van de verbindingen getransporteerd wordt. Zo garanderen we de bevoorradingszekerheid.

1.3.2 Betaalbaarheid

Het zo laag mogelijk houden van de kostprijs van het hoogspanningsnet is van zeer groot belang en wordt sterk opgevolgd door de Belgische regulator voor gas en elektriciteit, de CREG. Immers, de kost voor het ontwikkelen van het elektriciteitsnet wordt via de afschrijvingen (dus na het indienstnemen van de nieuwe infrastructuur) doorgerekend aan elke elektriciteitsverbruiker verbonden met het net. Wanneer bijkomende infrastructuur gebouwd moet worden, gaan we dan ook uit van het principe “zo weinig als mogelijk maar zo veel als nodig”.

Hiervoor wordt in eerste instantie ingezet op een zo hoog mogelijke efficiëntie in het gebruik van de bestaande installaties. Dat geldt zowel voor bestaande bovengrondse en ondergrondse verbindingen als voor hoogspanningsstations.

Om de kosten te beperken, wordt maximaal gebruik gemaakt van bestaande bovengrondse lijnen. Waar nodig worden de geleiders en toebehoren van de lijnen vervangen zonder de masten te vervangen, indien de stabiliteit dat toelaat.

Wanneer een verhoogde capaciteit nodig is, gaan we na of bijkomende draadstellen op bestaande masten kunnen worden getrokken. In de mate van het mogelijke worden die nieuwe geleiders zodanig gedimensioneerd dat er geen ingrijpende aanpassingen nodig zijn aan de masten waaraan de geleiders ophangen. Daarnaast maakt de netbeheerder ook gebruik van technologische oplossingen, zoals het plaatsen van hoogperformantiegeleiders. Die maken het mogelijk om de transmissiecapaciteit te verhogen met minimale aanpassingen aan de bestaande masten. Als dat nuttig is, worden bestaande geleiders vervangen door geleiders met een hogere capaciteit.

Ook de realisatie van bijkomende interconnecties met het buitenland speelt een belangrijke rol in de betaalbaarheid van het systeem. Dat maakt het mogelijk om goedkopere buitenlandse elektriciteit te importeren.

[1] N staat voor “het totaal aantal netelementen”. “N min één” is dus 1 netelement minder dan normaal.
[2] Een toelichting van de onderdelen van een hoogspanningsnet wordt gegeven in bijlage 12.2

1.3.3 Duurzaamheid

Het aspect duurzaamheid is in zijn beide betekenissen belangrijk:

- De installaties moeten duurzaam zijn in de betekenis dat ze een lange levensduur hebben. Dat zorgt voor een hoge betrouwbaarheid en een lagere jaarlijkse kost.
- De installaties moeten veilig zijn, de aansluiting van hernieuwbare energiebronnen mogelijk maken en het leefmilieu respecteren.

Dat spreekt grotendeels voor zich. Voor de milieuaspecten wordt het beleid uitgebreider toegelicht in paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**.

1.4 Principes van Elia bij ontwikkeling van nieuwe infrastructuur

De principes die Elia voor de ontwikkeling van nieuwe infrastructuur toepast, zijn beschreven in het Federaal Ontwikkelingsplan. De meest relevante aspecten voor dat plan zijn hieronder opgenomen.

Het streven van Elia is om ontwikkeling van nieuwe infrastructuur steeds in het belang van de samenleving te realiseren. Het is logisch dat men elke situatie apart moet evalueren, maar over het algemeen gezien kan gesteld worden dat nieuwe verbindingen tot en met een spanningsniveau van 150 kV gerealiseerd worden d.m.v. ondergrondse kabels. Daarbij onderzoekt Elia meerdere alternatieven, waarbij soms een grote perimeter van het net grondig wordt geherstructureerd om de lengte van de ondergrondse verbindingen te beperken. Wat het net op zeer hoge spanning betreft, zullen 380 kV-lijnen algemeen genomen bovengronds worden aangelegd.

In bepaalde gevallen dienen nieuwe verbindingen gerealiseerd te worden door de constructie van nieuwe bovengrondse lijnen, waarbij de voordelen van die lijnen (kostprijs, toegankelijkheid, beschikbaarheid …) optimaal worden benut. Die nieuwe verbindingen worden bij voorkeur gebundeld met andere lijninfrastructuur (bundeling-principe), bijvoorbeeld andere hoogspanningslijnen, autosnelwegen, waterlopen enz. Daarenboven ziet de netbeheerder erop toe dat de totale lengte van het bovengrondse transmissienet niet toeneemt (standstill-principe). Om dat te kunnen realiseren worden, waar mogelijk, tracés van bestaande lijnen van een lager spanningsniveau hergebruikt en wordt de verbinding van een lager spanningsniveau ondergronds gelegd. Wanneer een hergebruik van een bestaand tracé niet mogelijk is, kunnen bestaande lijnen in de omgeving worden verwijderd en/of ondergronds worden aangelegd bij wijze van ruimtelijke compensatie. Om de visuele impact van die nieuwe uitrustingen te beperken, kan voor masten met een aangepaste vorm worden geopteerd.

In ieder geval wordt bij de ontwikkeling van nieuwe lijninfrastructuur zoveel mogelijk rekening gehouden met de maatschappelijke wensen en wordt er bijvoorbeeld maximaal getracht om woongebieden en beschermde zones te vrijwaren.

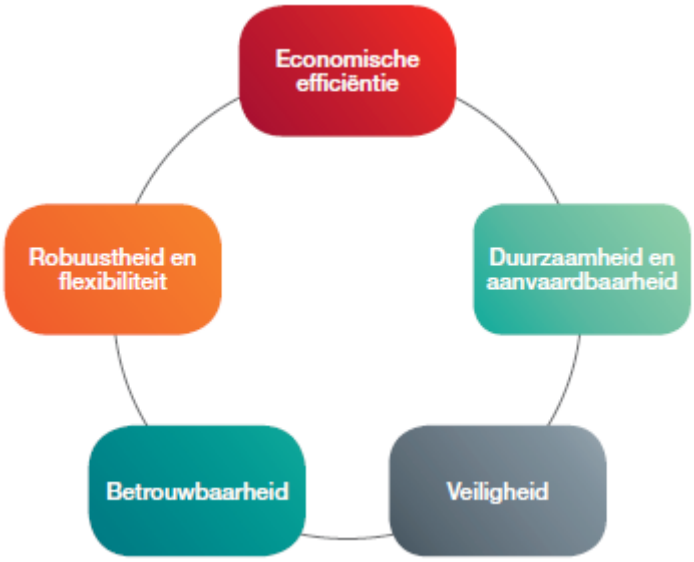
Wanneer er nieuwe stations moeten worden opgericht, ziet Elia erop toe dat die worden geïntegreerd in zones die geschikt zijn voor de exploitatie ervan. En Elia volgt de nodige procedures om de bestemming van die zones te wijzigen, in onderling overleg met de bevoegde overheden.

Bij de ontwikkeling van nieuwe infrastructuur houdt Elia rekening met:

- De veiligheid van de eigen medewerkers, van de onderaannemers en van het publiek. Dat is een absolute prioriteit voor Elia, die ervoor zorgt dat zijn installaties zo veilig mogelijk zijn.
- Betrouwbaarheid: de geselecteerde oplossingen moeten voldoen aan een reeks ontwikkelingscriteria.
- Robuustheid en flexibiliteit: de geselecteerde oplossingen worden getest in de verschillende toekomstscenario's en voor verschillende tijdshorizonten om de robuustheid en flexibiliteit

van de oplossing te evalueren. Hiermee vermijden we dat er kort na de realisatie van een project opnieuw ingrepen nodig zijn.

- Economische efficiëntie: mogelijke oplossingen worden vergeleken op technische en economische aspecten.
- Duurzaamheid en aanvaardbaarheid: de milieu-impact van de uit te voeren oplossingen wordt zo veel mogelijk beperkt en er wordt gestreefd naar een zo breed mogelijk maatschappelijk draagvlak.



Figuur 26 –criteria bij nieuwe infrastructuur

ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

OFFSHORE HIGH LEVEL TRACÉSTUDIE MOGII

Elia System Operator NV

Projectnummer: BE0116000874
Datum: 26/02/2019

Dossiergegevens

Opdrachtgever

ELIA SYSTEM OPERATOR
Leon Monnoyerkaai 3
1000 Brussel

Contactpersoon opdrachtgever

Arianne Mertens
Program Manager

Contactpersoon

RIET DURINCK
Consultant natural marine environment

E Riet.Durinck@arcadis.com

Arcadis Belgium nv
Gaston Crommenlaan 8
bus 101
9050 Gent
België

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	
V1.0	30/01/2019	Draft voor klant	Riet Durinck	Annemie Volckaert	
V2.0	15/02/2019	Finaal rapport	Riet Durinck		
V3.0	26/02/2019	Aangepast rapport	Riet Durinck		

INHOUDSOPGAVE

1 OMSCHRIJVING VAN DE OPDRACHT 5
1.1 Globale context en scope van de opdracht 5
1.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden voor het tracéonderzoek 5
2 OPMAAK BASISKAART 6
3 RESULTATEN TRACÉONDERZOEK 8
3.1 Bespreking aanlandingslocaties 8
3.2 Bespreking tracéonderdelen en -alternatieven 9
3.2.1 PART A: van de kust naar het centraal knooppunt 9
3.2.1.1 Beschrijving tracé 9
3.2.1.2 Vergelijking alternatieven 11
3.2.1.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie 12
3.2.2 PART B: van het centraal knooppunt naar de nieuwe windzones 13
3.2.2.1 Beschrijving tracé 13
3.2.2.2 Vergelijking alternatieven 14
3.2.2.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie 14
3.2.3 PART C: van de nieuwe windzones naar OSY (MOG I) 15
3.2.3.1 Beschrijving tracé 15
3.2.3.2 Vergelijking alternatieven 16
3.2.3.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie 16
3.2.4 PART D: van OSY (MOG I) naar Zeebrugge 16
3.2.4.1 Beschrijving tracé 16
3.2.4.2 Vergelijking alternatieven 16
3.2.4.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie 17
4 SAMENVATTING EN CONCLUSIES 18
4.1 Aanlandingslocaties 18
4.2 Offshore tracé 19
5 KAARTEN 21

LIJST MET AFKORTINGEN

B&W	Bruggen & Wegen
BNZ	Belgisch deel van de Noordzee
CIA	Commerciële en industriële activiteiten
FOD	Federale Overheidsdienst
IMO	International Maritime Organization
MOG	Modular Offshore Grid
MRP	Marien Ruimtelijk Plan
OSS	Offshore SubStation
OSY	Offshore Switch Yard
PEC	Pan European Crossing

1 OMSCHRIJVING VAN DE OPDRACHT

1.1 Globale context en scope van de opdracht

Elia wenst een offshore high level tracéonderzoek uit te voeren voor de verbinding van de windparken in de toekomstige nieuwe windzones (conform MRP 2020-2026) met de kust. Het betreft een desktopstudie met als doel de haalbaarheid te onderzoeken zonder evenwel hét definitief tracé als resultaat te beogen.

1.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden voor het tracéonderzoek

De uitgangspunten en randvoorwaarden voor het offshore tracéonderzoek worden aangeleverd door Elia.

Als mogelijke **aanlandingslocaties** worden volgende locaties meegenomen:

1. Koksijde
2. Oostende (ten westen van Fort Napoleon)
3. Bredene (ten oosten van Fort Napoleon)
4. De Haan (Vosseslag, Zwarte Kiezel, Rotonde Wenduine)
5. Wenduine oost
6. Zeebrugge

Figuur 1 – Beschouwde aanlandingslocaties

Er dienen routes gezocht te worden voor **6 export kabels**, waarbij een onderlinge tussenafstand van 100 m, en waar mogelijk 200m gerespecteerd wordt. In de kustnabije zone convergeren de kabels naar het aanlandingspunt toe.

2 OPMAAK BASISKAART

De diverse criteria die opgenomen worden in de basiskaart, worden opgesomd in onderstaande tabel. Het zijn deze criteria waarmee rekening gehouden wordt bij uitstippeling van mogelijke routes.

Als belangrijkste bron voor de ruimtelijke aflijning van de diverse gebruikers wordt het Belgisch Marien Ruimtelijk Plan (MRP) gehanteerd, meer specifiek het MRP voor de periode 2020-2026, dat op heden (februari 2019) evenwel nog niet gepubliceerd is. Dat betekent dat er dus gebruik gemaakt wordt van de op heden gekende toekomstige ruimtelijke planning voor het Belgisch deel van de Noordzee (BNZ), waarin nog wijzigingen kunnen optreden.

Aan de diverse criteria wordt, in overleg met Elia, een 'weerstand' toegekend (0-10), waarbij een zone met waarde 0 betekent dat er geen enkel probleem is voor het doorkruisen van deze zone, en waarde 10 betekent dat deze zone absoluut vermeden dient te worden. Hoe hoger de weerstand, hoe donkerder rood de betreffende zone ingekleurd wordt.

Offshore gebeurt de aanleg van nieuwe kabels preferentieel binnen de kabelcorridor die ingetekend is in het Marien Ruimtelijk Plan (MRP 2020-2026). Deze corridor krijgt de waarde -1 toegekend (wit).

Hoofstuk 5 geeft de resulterende weerstandkaarten:

- Weerstandkaart 1: Belgisch deel van de Noordzee
- Weerstandkaart 2: Westkust
- Weerstandkaart 3: Oostkust

De weerstandkaarten (en de gegenereerde tracéalternatieven) worden opgemaakt in het coördinatenstelsel (WGS 1984 UTM Zone 31N).

Criteria	Weerstand	Te respecteren afstand (m)	Opmerking
Energie, Kabels en pijpleidingen			
Bestaande pijpleidingen	10	500	• zo weinig mogelijk kruisingen [1]
Bestaande/geplande elektriciteitskabels	10	250	• zo weinig mogelijk kruisingen • Nautilus niet in rekening gebracht!
Bestaande telecommunicatiekabels	10	250	• zo weinig mogelijk kruisingen • ligging en status (in/out of use) onzeker; gebaseerd op data van FOD Economie
Buiten gebruik zijnde telecommunicatiekabels	8	0	• zo weinig mogelijk kruisingen[2] • ligging en status (in/out of use) onzeker; gebaseerd op data van FOD Economie
Windparken (oostelijke bestaande windzone)	10	500	
Scheepvaart en havens			
Ankerplaatsen	10	500	
Baggerstortzones	10	250	
Uitbreidingszones baggerstorten	6	0	
Havenuitbreidingszones	4	0	
Primaire scheepsvaartroutes (IMO)	2	0	• zo kort mogelijk kruisen
Overige scheepvaartroutes	2	0	
Gebaggerde scheepvaartroutes	6	0	• zo kort mogelijk kruisen
Voorzorgsgebieden (IMO)	2	0	

[1] Deze tracéstudie wordt niet uitgevoerd met Spatial Analyst (Cost-distance analyse) maar wel manueel. Dat betekent dat de hoogste weerstand (waarde 10) niet impliceert dat een kabel of pijpleiding niet meer gekruist kan worden.
[2] Buiten gebruik zijnde kabels kunnen doorgaans simpel doorgeknipt worden. Er is natuurlijk wel een kostimplicatie voor het uitvoeren van deze handeling, zeker indien er in de te verwijderen secties repeaters aanwezig zijn (die mogelijk radioactief materiaal bevatten).

Criteria	Weerstand	Te respecteren afstand (m)	Opmerking
Militaire activiteiten			
Munitiestortplaats (Paardenmarkt)	10	250	
Militaire zones voor schietoefeningen	0	0	
Militaire oefenzones mijnenvegen	0	0	
Militaire detonatiezones	8	0	
Natuurbehoud			
Habitatrichtlijngebieden	0	0	• vermijden van meest waardevolle grindbedden mee te nemen in latere detailed routing studie (waar relevant)[3]
Vogelrichtlijngebieden	0	0	
Visserij en aquacultuur			
Visserij	0	0	• niet opgenomen; nagenoeg overal, niet bepalend voor tracés
Aquacultuur	0	0	• niet opgenomen, algemeen binnen windparken
Overige gebruikers			
Zandwinningszones	10	250	
Zones voor commerciële en industriële activiteiten	6	0	• zolang niet exact geweten is welke activiteit hier zal plaatsvinden (en waar), zeer moeilijk om deze zones te doorkruisen
Beschermde wrakken	10	35	• exacte ligging wrakken en mogelijkheid voor microrouting?
Overige wrakken	-	?	• volledigheid database onzeker • niet meegenomen gezien bij detailed routing hier meestal rondom gewerkt kan worden
Testzone Zeewering (Broersbank)	4	0	
Meetpalen, radartorens, onderzoeksplatform (Nemos)	10	250	

[3] Het aanleggen van kabels binnen Habitatrichtlijngebied is niet verboden. Het is wel mogelijk dat er extra voorwaarden opgelegd zullen worden aan secties die aangelegd worden binnen dit gebied, ter bescherming van de meest kwetsbare aanwezige habitats.

3 RESULTATEN TRACÉONDERZOEK

3.1 Bespreking aanlandingslocaties

In onderstaande tabel worden algemeen enkele voor- en nadelen en aandachtspunten van de diverse beoogde aanlandingslocaties besproken, vanuit het offshore zichtpunt.

Koksijde
Tracémogelijkheden sterk beperkt door aanwezigheid van volgende zones/gebruikers in het westelijk deel van de Belgisch deel van de Noordzee (BNZ): - Zones voor commerciële en industriële activiteiten (CIA) - Zandwinningszones - Talrijke (buiten gebruik zijnde) kabels - Nieuwe reservatiezone baggerstorten ➔ Omweg in oostelijke richting noodzakelijk
Grote afstand buiten kabelcorridor MRP → moeilijker vergunbaar (kleine afwijkingen buiten kabelcorridor zijn te verantwoorden; grote gedeelten wordt moeilijk)
Oostende & Bredene
Aanlanding moeilijk gezien aanwezigheid van tal van gebruikers: - Locatie onderzoeksplatform Nemos en grote zone voor onderzoek daarrond - Beschermde wrakken - Vaargeul naar haven van Oostende (wordt regelmatig gebaggerd) → vereist grotere ingraafdiepte - C-Power exportkabels - Telecomkabels - Zone voor commerciële en industriële activiteiten (‘energie-atol zone’) - Uitbreidingszone haven van Oostende - Bestaande baggerstortzone ‘Bruggen & Wegen Oostende’ en nieuwe reservatiezone voor baggerstorten ten zuiden daarvan (ter vervanging van B&W Oostende omwille van overlap met CIA zone)
Gebruik van kabelcorridor naar Oostende moeilijk; vereist kruising van vaargeul (en van C-Power export kabels) in zeer ondiepe wateren
De Haan (Vosseslag, Zwarte Kiezel en Wenduine rotonde)[4]
Vrij gunstige ligging: - Kabelcorridor richting Zeebrugge kan grotendeels gevolgd worden, enkel laatste gedeelte van tracé (5-6 km) buiten corridor aan te leggen - Weinig obstakels in de kustnabije zone; enkel zone voor commerciële en industriële activiteiten (‘energie-atol zone’) blokkeert kortere verbinding met kust → omweg in oostelijke richting noodzakelijk
Wenduine oost
Gunstige ligging: - Kabelcorridor richting Zeebrugge kan grotendeels gevolgd worden, enkel laatste gedeelte van tracé (3-4 km) buiten corridor aan te leggen - Geen belangrijke obstakels in de kustnabije zone

[4] De alternatieven De Haan en Wenduine Oost dekken feitelijk alle mogelijke aanlandingslocaties van De Haan en zijn deelgemeente Wenduine.

Zeebrugge
Voordelen: - Mogelijkheid voor gebruik van 1 reeds vergund tracé van MOG I (reservekabel) → connectie met OSY van MOG I: dit is PART D van het offshore tracé (zie verder) - 2 gestuurde boringen onder de duinen reeds aanwezig
Mogelijk conflict: Nieuwe mogelijke zone voor baggerstorten ter aanvulling van stortzone Zeebrugge Oost, hoewel op basis van huidige kennis verwacht wordt dat een mogelijk nieuwe stortlocatie gesitueerd zal worden tussen de vaargeul naar de haven van Zeebrugge en de Belwind exportkabel; dus waar geen conflict met tracés voor MOG II verwacht hoeft te worden

3.2 Bespreking tracéonderdelen en -alternatieven

Het offshore tracé wordt in verschillende onderdelen opgesplitst:

- Part A: van de kust naar het centraal knooppunt
- Part B: van het centraal knooppunt naar de nieuwe windzones
- Part C: van de nieuwe windzones naar OSY (MOG I)
- Part D: van OSY (MOG I) naar Zeebrugge (vergund tracé reservekabel van MOG I)

Voor de meeste tracéonderdelen bestaan diverse alternatieven. De verschillende tracéonderdelen kunnen dan onderling met elkaar gecombineerd worden.

In onderstaande paragrafen worden de diverse tracéonderdelen en hun alternatieven besproken.

In Hoofdstuk 5 wordt kaartmateriaal weergegeven met de offshore tracéalternatieven.

3.2.1 PART A: van de kust naar het centraal knooppunt

3.2.1.1 Beschrijving tracé

KOKSIJDE
PART A_Koksijde 1
• Vertrekkende vanuit Koksijde[5] lopen de kabels in noordoostelijke richting tot in de kabelcorridor, waarbij de baggerstortzone Nieuwpoort ten zuidoosten gepasseerd wordt. • Vervolgens gaan de kabels in noordelijke richting tot bij het centraal knooppunt (startpunt PART B_3), na kruising van de scheepvaartroute 'Wielingen'.

OOSTENDE & BREDENE		
PART A_Oostende 1	**PART A_Bredene 1**	**PART A_Bredene 2**
• Vertrekkende vanuit een punt ten westen van Fort Napoleon (net ten oosten van de haven van Oostende) dienen de kabels meteen noordwestelijk af te draaien om het Nemos platform (en onderzoekszone) en een beschermd wrak te ontwijken. Daarbij wordt de vaargeul leidend naar de haven van Oostende in zeer ondiepe wateren gekruist (technisch moeilijk + volledige obstructie van haven bij aanlegwerken).	• Vertrekkende vanuit Bredene lopen 6 kabels in noordwestelijke richting, tussen de C-Power exportkabels en de PEC telecom kabel in, en rondom een aanwezig beschermd wrak. • Op ongeveer 5 km uit de kust buigen de kabels af in noordelijke richting om de PEC telecom kabel te kruisen en vervolgens langs de westelijke rand een zone voor commerciële en industriële activiteiten te kruisen ('energie-atol zone'). De	• Dit alternatief is een tussenvariant tussen PART A_Bredene 1 en PART A_Zeebrugge 1. • Bij dit alternatief volgen slechts 4 kabels het beschreven tracé van PART A_Bredene 1. • Twee kabels hebben hun vertrekpunt in Zeebrugge, waarna de tracés parallel aan Nemo Link lopen; 1 ten noorden en 1 ten zuiden van Nemo Link.

[5] Het uitgetekende tracé vertrekt vanuit de zone 'Zeebermduinen' in Koksijde. Aanlanding enigszins meer westelijk, naar de zone 'Doornpanne' levert een nagenoeg identiek offshore tracé op, en heeft geen bijkomende conflicten. Wel is er sprake van een extra kruising van de kabels met een buiten gebruik zijnde telecom kabel.

• Vervolgens volgen de kabels de kabelcorridor in noordwestelijke richting.	baggerstortzone 'Bruggen & Wegen Oostende' en zijn reservatiezone worden langs noordwestelijke zijde gepasseerd. • Vervolgens komen de 6 kabels toe in de kabelcorridor, waar kruising met de C-Power exportkabels en met Nemo Link optreden.	• Beide kabels vanuit Zeebrugge lopen volledig binnen de kabelcorridor. Net voor kruising met de scheepvaartroute 'Wielingen' worden deze 2 kabels gebundeld met de 4 kabels vanuit Bredene.
• Ten slotte kruisen de 6 kabels de scheepvaartroute 'Wielingen', tot bij het centraal knooppunt (startpunt PART B_3).	• Ten slotte kruisen de 6 kabels de scheepvaartroute 'Wielingen', tot bij het centraal knooppunt (startpunt PART B_1 of PART B_2).	

DE HAAN (Vosseslag + Zwarte Kiezel + Rotonde Wenduine) – WENDUINE	
PART A_De Haan 1 (Vosseslag, Zwarte Kiezel, Rotonde Wenduine)	**PART A_Wenduine Oost 1**
• Vertrekkende vanuit De Haan (Vosseslag, Zwarte Kiezel of Wenduine rotonde[6]) lopen de kabels in noordwestelijke richting, ten oosten van de zone voor commerciële en industriële activiteiten. • Daarna draaien de kabels af om in westelijke richting de kabelcorridor te volgen. Van hieruit zijn de tracés identiek aan het alternatief van Wenduine.	• Net als het alternatief van De Haan lopen de kabels eerst in noordwestelijke richting om uit te komen in de kabelcorridor. • Daarna draaien de kabels af in westelijke richting.
• Na kruising met de C-Power exportkabels buigen de kabels af in noord/noordwestelijke richting om de Nemo Link en de scheepvaartroute 'Wielingen' te kruisen, tot bij het centraal knooppunt (startpunt PART B_1 of PART B_2).	

ZEEBRUGGE
PART A_Zeebrugge 1
• Bij dit alternatief vertrekken alle 6 de kabels vanuit Zeebrugge. • 1 kabel vindt zijn aansluitingspunt in een reeds voorziene locatie voor een mofput (locatie ten oosten van Nemo Link mofput; de andere nog meer oostelijke voorziene locatie voor een mofput wordt ingenomen voor connectie van PART D (zie verder)), en loopt ten noorden van Nemo Link. • De overige 5 kabels lopen allen ten zuiden parallel aan Nemo Link. • Alle tracés volgen de kabelcorridor tot na kruising met de C-Power export kabels, waarna de kabels afbuigen in noord/noordwestelijke richting om de scheepvaartroute 'Wielingen' te kruisen, tot bij het centraal knooppunt (startpunt PART B_1 of PART B_2).

Alle mogelijke combinaties van delen van alternatieven zijn eveneens mogelijk; zo kan bijvoorbeeld ook de combinatie gemaakt worden van 2 kabels naar Zeebrugge met 4 kabels naar De Haan.

[6] De alternatieven De Haan en Wenduine Oost dekken feitelijk alle mogelijke aanlandingslocaties van De Haan en zijn deelgemeente Wenduine.

3.2.1.2 Vergelijking alternatieven

In onderstaande tabel worden de diverse alternatieven vergeleken aan de hand van enkele relevante criteria.

ALTERNATIEVEN	PART A_Koksijde 1	PART A_Oostende 1	PART A_Bredene 1	PART A_Bredene 2	PART A_ De Haan 1	PART A_ Wenduine oost 1	PART A_ Zeebrugge 1
Lengte tracé[7] (km)	162	114	110	124	119	135	156
Lengte binnen kabelcorridor (km)	55	110	50	83	84	127	156
% tracé binnen kabelcorridor	34,0	96,5	45,5	66,9	70,6	94,1	100
Aantal kruisingen met in gebruik zijnde kabels en pijpleidingen[8]	24	12	24	21	18	18	17
Aantal kruisingen met buiten gebruik zijnde kabels[9]	24	0	0	0	0	0	0
Lengte kruising Habitatrichtlijngebied (km)[10]	135	0	0	0	0	0	0
Lengte kruising scheepvaarroutes (km)	36	40	18	18	18	18	18

Op basis van deze criteria komen de **oostelijke alternatieven** als meest gunstig naar voor.

Voornamelijk de grote afstand buiten de **kabelcorridor** voor het alternatief Koksijde is ongunstig. Ook het alternatief Bredene 1 ligt voor meer dan de helft buiten de kabelcorridor.

Belangrijk te vermelden betreffende alternatieven Bredene 1 en 2[11] is het feit dat deze alternatieven enkel uitvoerbaar zijn indien het toegelaten wordt om de kabels binnen de **nieuwe zone voor commerciële en industriële activiteiten** aan te leggen. Bovendien dragen volgende factoren bij aan een hogere technische complexiteit:

- Aanwezigheid **beschermd wrak** net voor de kust; de HMS Briljant. Geldende beschermingsmaatregelen: 35m rondom het wrak verbodem te lijnvissen, ankeren en dreggen;
- **Kruising met de PEC telecom kabel in ondiepe wateren** + scherpe te realiseren bocht om tot deze kruising te komen.

Aanlanding in Oostende net ten oosten van de haven (alternatief Oostende 1) wordt gehinderd door de aanwezigheid van het **Nemos onderzoeksplatform** en de zone errond en de aanwezigheid van een **beschermd wrak** (houten wrak met onbekende naam), in combinatie met de aanwezigheid van de **C-Power exportkabels** (hetgeen uitwijking meteen in noordoostelijke onmogelijk maakt). Deze factoren maken het onmogelijk om vanuit een punt ten westen van Ford Napoleon een route ten oosten van de vaargeul te volgen. Om vanuit deze locatie (ten westen van Ford Napoleon) te vertrekken, dienen de kabels meteen in westelijke richting af te draaien, hetgeen betekent dat ze net voor de havenmond de **gebaggerde vaargeul**

[7] De lengte van alle kabels afzonderlijk wordt geteld. Voor veel alternatieven betekent dit dus (xx km * 6)
[8] Ter duiding betreffende het aantal kruisingen: Als voorbeeld voor alternatief Koksijde: 24 kruisingen betekent dat 4 bestaande kabels gekruist worden door 6 nieuwe elektriciteitskabels.
[9] Correctheid en volledigheid van gegevens is onzeker
[10] Het aanleggen van kabels binnen Habitatrichtlijngebied is niet verboden. Het is wel mogelijk dat er extra voorwaarden opgelegd zullen worden aan secties die aangelegd worden binnen dit gebied, ter bescherming van de meest kwetsbare aanwezige habitats.
[11] Alternatief Bredene 2 is een combinatie van Bredene 1 en Zeebrugge 1 (tussenvariant).

dienen te kruisen, hetgeen in dergelijke ondiepe wateren een grote uitdaging is en vermoedelijk ook niet vergund zal worden. Dit alternatief is bijgevolg eerder onrealistisch.

Voor gelijk welk alternatief geldt dat de aanlandingszone (nearshore zone) een gebied is waar veel technische installatierisico's aan gebonden zijn. Het is ten sterkste aangeraden om voor deze zone een **gedetailleerd technisch haalbaarheidsonderzoek** uit te voeren.

3.2.1.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie

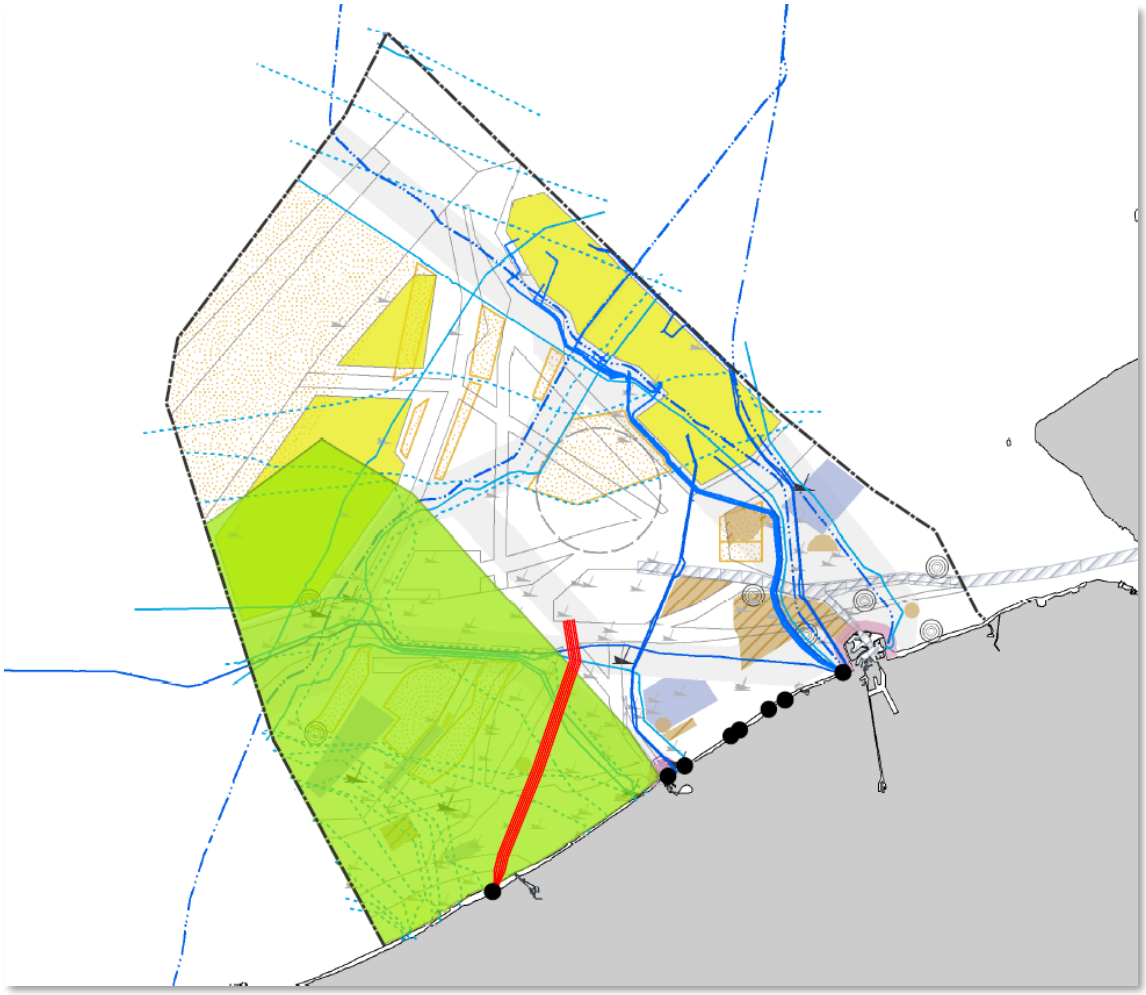
Aandachtspunten specifiek met betrekking tot de Oostende en Bredene alternatieven:

- Moeilijke aanlanding: zeer beperkte beschikbare ruimte in de kustnabije zone;
- Nabijheid exportkabels C-Power en PEC telecom kabel;
- Kruising PEC telecom kabel in ondiepe wateren;
- Aanwezigheid beschermd wrak;
- Overlap met zone voor commerciële en industriële activiteiten.

Aspecten van belang voor verdere route optimalisatie (voor alle alternatieven):

- Factoren die in voorliggende niet in beschouwing genomen werden, maar in rekening gebracht moeten worden bij de verdere optimalisatie van het tracé:
  - Wrakken (niet beschermd);
  - Aanwezigheid van grindbedden (hoge beschermingsstatus), zeker binnen Habitatrichtlijngebied Vlaamse Banken: vermijden van meest waardevolle grindbedden (steeds gesitueerd in geulen tussen zandbanken) mee te nemen in latere detailed routing studie: enkel van belang voor alternatief Koksijde (zie figuur);
  - Aanwezigheid van zandbanken en zandgolven, en hun oriëntatie;
  - Kruisingen met andere kabels: streven naar kruisingshoek van 90° (nu vaak niet het geval) + eventueel mogelijk om aantal kruisingen te reduceren.

Figuur 2 – Ligging alternatief PART A_Koksijde 1 binnen Habitatrichtlijngebied Vlaamse Banken



3.2.2 PART B: van het centraal knooppunt naar de nieuwe windzones

3.2.2.1 Beschrijving tracé

<table>
<tr><th colspan="2">PART B_1</th><th>PART B_2</th><th>PART B_3</th></tr>
<tr><td colspan="2">• Alle alternatieven van PART A vertrekkende vanuit Bredene, De Haan, Wenduine en Zeebrugge komen uit op hetzelfde centraal knooppunt.
• Vanuit het centraal knooppunt lopen de kabels allen gebundeld in noordwestelijke richting, binnen de kabelcorridor (nieuwe sectie MRP 2020).
• Hierbij worden 3 (zeer) belangrijke scheepvaartroutes gekruist.
• Daarna bestaan er diverse opties om naar de nieuwe windzones te lopen. Hieronder worden twee alternatieven besproken, maar er bestaan diverse mogelijkheden om delen van deze alternatieven te combineren tot nog andere alternatieven.</td><td rowspan="2">• Dit alternatief van PART B is specifiek ontwikkeld voor de alternatieven van PART A die vertrekken vanuit Koksijde en Oostende.
• Het enige verschil met PART B_1 is het vertrekpunt; dit is voor PART B_3 meer westelijk gelegen, gezien de route van Koksijde en Oostende meer vanuit het westen aankomen. Voor het verdere tracé kan ook de optie zoals weergegeven in PART B_2 gebruikt worden, of elke andere combinatie.</td></tr>
<tr><td>• Bij dit alternatief blijven alle kabels maximaal gebundeld tot bij aankomst in de nieuwe windzone ‘Fairybank’.
• Hierbij wordt een afstand van ten minste 500 m ten opzichte van de ankerzone ‘West Hinder’ behouden.
• Vervolgens wordt een belangrijke scheepvaartroute gekruist die het verkeerscheidingsstelsel ‘Off North Hinder’ verbindt met het voorzorgsgebied en verkeerscheidingsstelsel ‘At West</td><td>• Bij dit alternatief lopen telkens 2 kabels naar elk afzonderlijk OSS.
• De 2 kabels naar het OSS van windzone ‘Fairybank’ takken het eerst af, in westelijke richting, en kruisen hierbij een scheepvaartroute en de kabelcorridor die hieraan parallel loopt (zoals in alternatief PART B_1).
• 4 kabels volgen een stuk langer de kabelcorridor in noordwestelijke richting. Na kruising met de</td></tr>
</table>

Hinder', en een kabelcorridor die parallel aan deze scheepvaartroute loopt. • Vanuit het OSS van de windzone 'Fairybank' vertrekken verbindingen met de OSS van de andere windzones ('Noordhinder Noord' en 'Noordhinder Zuid'). Tussen deze windzones wordt een vaak gebruikte scheepvaartroute gekruist, die het verkeerscheidingsstelsel 'North Hinder South' verbindt met het voorzorgsgebied 'At Gootebank'.	scheepvaartroute splitsen de kabels zich op. • 2 kabels lopen in noordwestelijke richting rechtstreeks door naar het OSS van de windzone 'Noordhinder Zuid'. • De 2 kabels naar het OSS van de windzone 'Noordhinder Noord' lopen eerst tussen de zandwinningszone 4d en de scheepvaartroute (hier zou ook kunnen geopteerd worden om de kabels meer noordwestelijk, tussen zandwinningszone 4d en de windzone 'Noordhinder Zuid' te leiden). Vervolgens kruisen deze kabels de vaak gebruikte scheepvaartroute die het verkeerscheidingsstelsel 'North Hinder South' verbindt met het voorzorgsgebied 'At Gootebank', om daarna toe te komen in de windzone 'Noordhinder Noord'.	

3.2.2.2 Vergelijking alternatieven

In onderstaande tabel worden de diverse alternatieven vergeleken aan de hand van enkele relevante criteria.

ALTERNATIEVEN	PART B_1	PART B_2	PART B_3
Lengte tracé (totaal) (km)	240	200	234
Lengte binnen kabelcorridor en binnen windzone (km)	198	152	188
% tracé binnen kabelcorridor en binnen windzone	82,5	76,0	80,3
Aantal kruisingen met in gebruik zijnde kabels en pijpleidingen	18	18	18
Aantal kruisingen met buiten gebruik zijnde kabels[12]	22	17	22
Lengte kruising Habitatrichtlijngebied (km)	125	37	125
Lengte kruising scheepvaarroutes (km)	42	43	42

Aangezien PART B_3 slechts een kleine variant is van PART B_1, is in dit geval voornamelijk de vergelijking tussen PART B_1 en PART B_2 van belang. Alternatief **PART B_2** komt als meest voordelige naar voor op basis van deze criteria.

Hoewel maximale bundeling van de kabels, zoals in PART B_1, gepromoot wordt ten behoeve van de mariene ruimtelijke planning, biedt alternatief PART B_2 een grotere transportzekerheid, aangezien te sterke bundeling impliceert dat slechts één incident alle kabels tegelijk kan treffen.

3.2.2.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie

Aspecten van belang voor verdere route optimalisatie:

- Factoren die in voorliggende niet in beschouwing genomen werden, maar in rekening gebracht moeten worden bij de verdere optimalisatie van het tracé:
  - Wrakken (niet beschermde)

[12] Correctheid en volledigheid van gegevens is onzeker

- Aanwezigheid van grindbedden (hoge beschermingsstatus), zeker binnen Habitatrichtlijngebied Vlaamse Banken: vermijden van meest waardevolle grindbedden (steeds gesitueerd in geulen tussen zandbanken) mee te nemen in latere detailed routing studie (zie figuur)
- Aanwezigheid van zandbanken en zandgolven, en hun oriëntatie;
- Kruisingen met kabels en pijpleidingen: streven naar kruisingshoek van 90° (nu vaak niet het geval) + eventueel mogelijk om aantal kruisingen te reduceren.

Figuur 3 – Ligging alternatief PART B_2 binnen Habitatrichtlijngebied Vlaamse Banken

3.2.3 PART C: van de nieuwe windzones naar OSY (MOG I)

3.2.3.1 Beschrijving tracé

PART C_1	PART C_2
• Dit tracé vertrekt vanuit de meest noordelijke nieuwe windzone (‘Noordhinder Noord’).	
• Het zuidelijk alternatief loopt tussen zandwinningszones 4b en 4c (tussenruimte bedraagt slechts 600 m, waar bovendien een buiten gebruik zijnde telecom kabel loopt → veiligheidsafstand van 250m moeilijk te behouden), en ten zuiden van de nieuwe zandwinningszone 5. • Het tracé kruist drie belangrijke scheepvaartroutes die het verkeerscheidingsstelsel ‘Off North Hinder’ verbinden met het voorzorgsgebied ‘At West Hinder’ en het voorzorgsgebied ‘At Gootebank’. • Het laatste gedeelte van het tracé loopt binnen de kabelcorridor en sluit vervolgens aan op OSY.	• Het noordelijk alternatief loopt ten noorden van zandwinningszones 4b en 5. • Het tracé loopt voor een groot deel door het verkeerscheidingsstelsel ‘Off North Hinder’. • Vanaf het knikpunt ten noorden van zandwinningszone 4b, loopt het tracé binnen de kabelcorridor, tot aan OSY. • Het tracé loopt voor een groot deel parallel aan telecom kabel Concerto 1S. De laatste 6,5 km tot aan OSY volgt het tracé de exportkabel van Mermaid.

3.2.3.2 Vergelijking alternatieven

In onderstaande tabel worden de diverse alternatieven vergeleken aan de hand van enkele relevante criteria.

ALTERNATIEVEN	PART C_1	PART C_2
Lengte tracé (km)	24	24
Lengte binnen kabelcorridor (km)	9	15
% tracé binnen kabelcorridor	37,5	62,5
Aantal kruisingen met in gebruik zijnde kabels en pijpleidingen	4	4
Aantal kruisingen met buiten gebruik zijnde kabels[13]	5	1
Lengte kruising Habitatrichtlijngebied (km)	0	0
Lengte kruising scheepvaarroutes (km)	5,1	8,5

Op basis van deze criteria komt alternatief **PART C_2** als meest gunstige alternatief naar voor.

3.2.3.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie

Aspecten van belang voor verdere route optimalisatie:

- Factoren die in voorliggende niet in beschouwing genomen werden, maar in rekening gebracht moeten worden bij de verdere optimalisatie van het tracé:
  - Wrakken (niet beschermde)
  - Aanwezigheid van zandbanken en zandgolven, en hun oriëntatie;
  - Kruisingen met kabels en pijpleidingen: streven naar kruisingshoek van 90° (nu vaak niet het geval) + eventueel mogelijk om aantal kruisingen te reduceren;
- Uit te voeren optimalisaties:
  - Sectie die tussen zandwinningszones 4b en 4c loopt: optimalisatie noodzakelijk zodanig dat steeds een veiligheidsafstand van 250m ten opzichte van deze zandwinningszones behouden worden, daarbij rekening houdend met de aanwezige buiten gebruik zijnde telecom kabel;
  - Sectie van het tracé dat parallel loopt aan telecom kabel Concerto 1S en de export kabel van Mermaid (alternatief PART C_2): onderlinge tussenafstand te optimaliseren.

3.2.4 PART D: van OSY (MOG I) naar Zeebrugge

3.2.4.1 Beschrijving tracé

PART D
• Part D is het tracégedeelte vertrekkende vanuit OSY naar Zeebrugge. Dit is het tracé dat reeds vergund is voor MOG I (reservekabel), en dat parallel aan de MOG 220-5 en MOG 220-11 kabels loopt.
• Dit tracégedeelte werd niet aangepast ten opzichte van het vergunde tracé (2017) → dit tracé dient nog verfijnd te worden om compatibel te worden met de finale tracés van MOG 220-5 en MOG 220-11.

3.2.4.2 Vergelijking alternatieven

Niet van toepassing

[13] Correctheid en volledigheid van gegevens is onzeker

3.2.4.3 Aandachtspunten en aanbevelingen voor verdere route optimalisatie

Aspecten om rekening mee te houden bij verdere route optimalisatie:

- Nabijheid (minder dan 250m) van baggerstortzone S1 (en nieuw afgebakende reservezone);
- Afbakening nieuwe baggerstortzone ten westen van Zeebrugge (nearshore area).

4 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

4.1 Aanlandingslocaties

Wenduine en De Haan zijn het meest gunstig gelegen voor aanlanding van kabels; hier bevinden zich in de kustnabije zone het minste obstakels en bovendien kan de kabelcorridor over een grote afstand gevolg worden.

Gezien het groot aantal aanwezige activiteiten en gebruikers in de omgeving van de haven van Oostende, is aanlanding in Oostende en Bredene niet evident.

- Aanlanding net ten oosten van de haven van Oostende (Oostende 1) is onrealistisch gezien de aanwezigheid van het Nemos onderzoeksplatform, een beschermd wrak en de C-Power exportkabels, en gezien de noodzaak voor het kruisen van de gebaggerde vaargeul naar de haven van Oostende in zeer ondiepe wateren.
- Alternatieven Bredene 1 en 2 situeren zich een grote lengte buiten de kabelcorridor hetgeen nadelig is voor de vergunbaarheid. Beide alternatieven zijn haalbaar, hoewel toelating van installatie van kabels binnen de nieuwe zone voor commerciële en industriële activiteiten een belangrijke randvoorwaarde is. De aanwezigheid van een beschermd wrak net voor de kust en de te realiseren kruising met de PEC telecom kabel in ondiepe wateren dragen bovendien bij aan een hogere technische complexiteit.

Aanlanding ter hoogte van Zeebrugge betekent een grotere tracélengte, maar is ook haalbaar. Door de aanwezigheid van diverse kabels in deze zone stijgt evenwel de technische moeilijkheidsgraad.

Koksijde is als aanlandingslocaties weinig gunstig gezien de het grootste deel van het tracé buiten de kabelcorridor ligt.

ALTERNATIEVEN	Koksijde	Oostende	Bredene 1	Bredene 2	De Haan	Wenduine	Zeebrugge
Haalbaarheid							

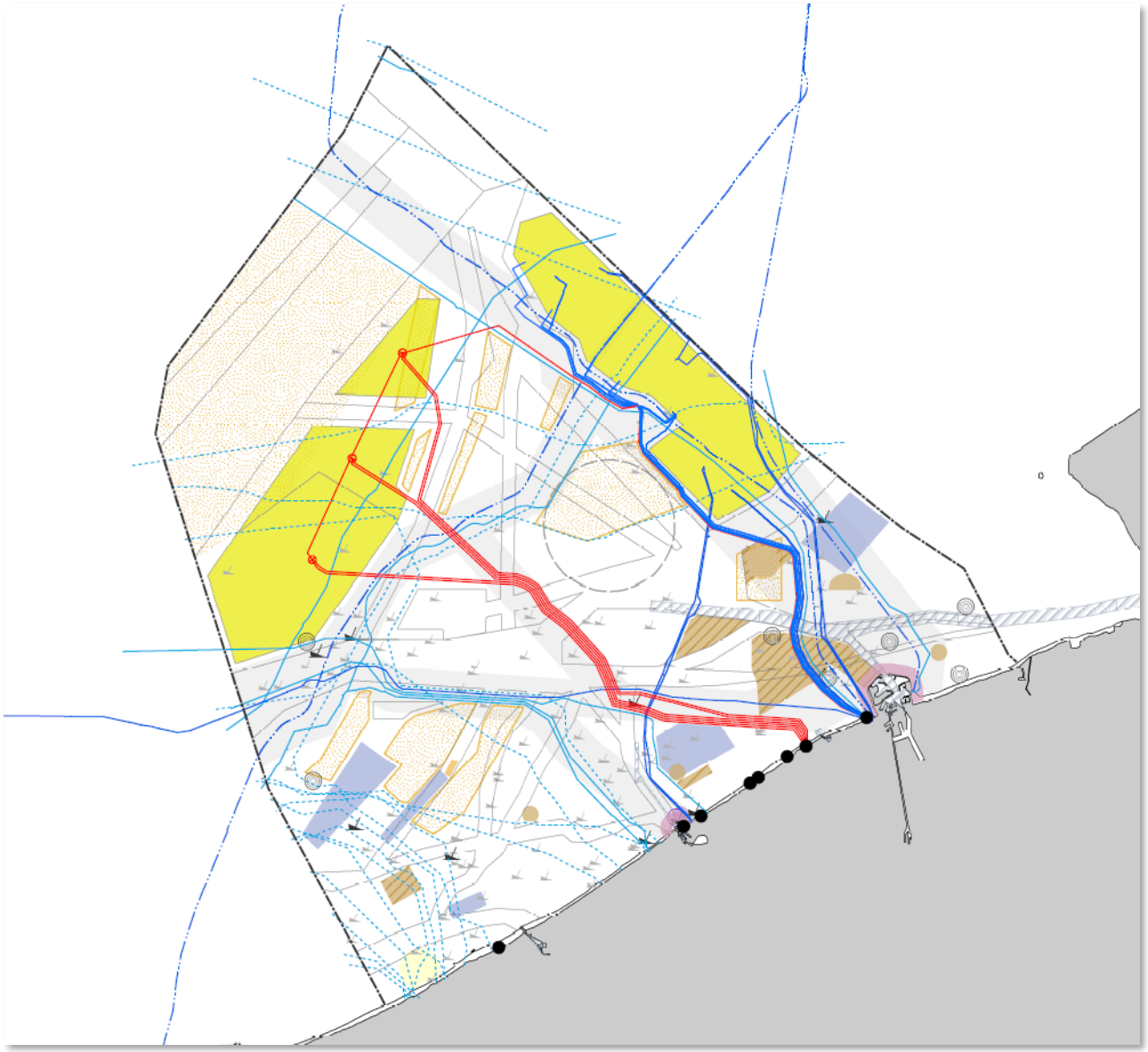
Voor gelijk welk alternatief geldt dat de aanlandingszone (nearshore zone) een gebied is waar veel technische installatierisico's aan gebonden zijn. Het is ten sterkste aangeraden om voor deze zone een **gedetailleerd technisch haalbaarheidsonderzoek** uit te voeren.

4.2 Offshore tracé

Een valabele combinatie van de diverse delen wordt in Kaart 19 en figuur 4 weergegeven.

Hierbij lopen de kabels startend vanuit Wenduine maximaal door de kabelcorridor, en worden ze gebundeld tot ongeveer 27 km uit de kust (gebundeld met elkaar en/of met reeds aanwezige kabels), hetgeen ten behoeve van de mariene ruimtelijke planning gepromoot wordt. Vanaf dat punt splitsen de kabels zich op naar de diverse windzones, hetgeen ten goede komt aan de transportzekerheid, aangezien te sterke bundeling impliceert dat slechts één incident alle kabels tegelijk kan treffen. Daarnaast wordt ook connectie gelegd met het OSY platform van MOGI en van daaruit met de kust van Zeebrugge.

Figuur 4 – Voorbeeld combinatie van de diverse tracégedeelten: PART A_Wenduine Oost_1 + PART B_2 + PART C_2 + PART D



5 KAARTEN

Kaart 01_Elia_MOGII_Weerstandkaart BNZ

Kaart 02_Elia_MOGII_Weerstandkaart Westkust

Kaart 03_Elia_MOGII_Weerstandkaart Oostkust

Kaart 04_Elia_MOGII_PART A_Koksijde1

Kaart 05_Elia_MOGII_PART A_Oostende1

Kaart 06_Elia_MOGII_PART A_Bredene1

Kaart 07_Elia_MOGII_PART A_Bredene2

Kaart 08_Elia_MOGII_PART A_DeHaan1

Kaart 09_Elia_MOGII_PART A_Wenduine Oost1

Kaart 10_Elia_MOGII_PART A_Zeebrugge1

Kaart 11_Elia_MOGII_PART B_1

Kaart 12_Elia_MOGII_PART B_2

Kaart 13_Elia_MOGII_PART B_3

Kaart 14_Elia_MOGII_PART C_1

Kaart 15_Elia_MOGII_PART C_2

Kaart 16_Elia_MOGII_PART D

Kaart 17a_Elia_MOGII_Voorbeeld gecombineerde delen

Kaart 18b_Elia_MOGII_Voorbeeld gecombineerde delen_Weerstandkaart

MOG II - Offshore tracéstudie

Weerstandkaart - Belgisch deel van de Noordzee

Weerstand

Lage weerstand

Hoge weerstand (te vermijden)

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:300.000

N

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Weerstand

Lage weerstand

Hoge weerstand (te vermijden)

0 0,5 1 2 3 4 5 Km

1:100.000

N

Weerstandkaart - Westkust

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

N

Weerstand

Lage weerstand

Hoge weerstand (te vermijden)

0 0,5 1 2 3 4 5 Km

1:100.000

Weerstandkaart - Oostkust

ARCADIS

N

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Koksijde 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Oostende 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Bredene 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

N

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Bredene 2

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_De Haan 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Wenduine oost 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

N

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART A_Zeebrugge 1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:150.000

N

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART B_1

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:200.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART B_2

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:200.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART B_3

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:200.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART C_1

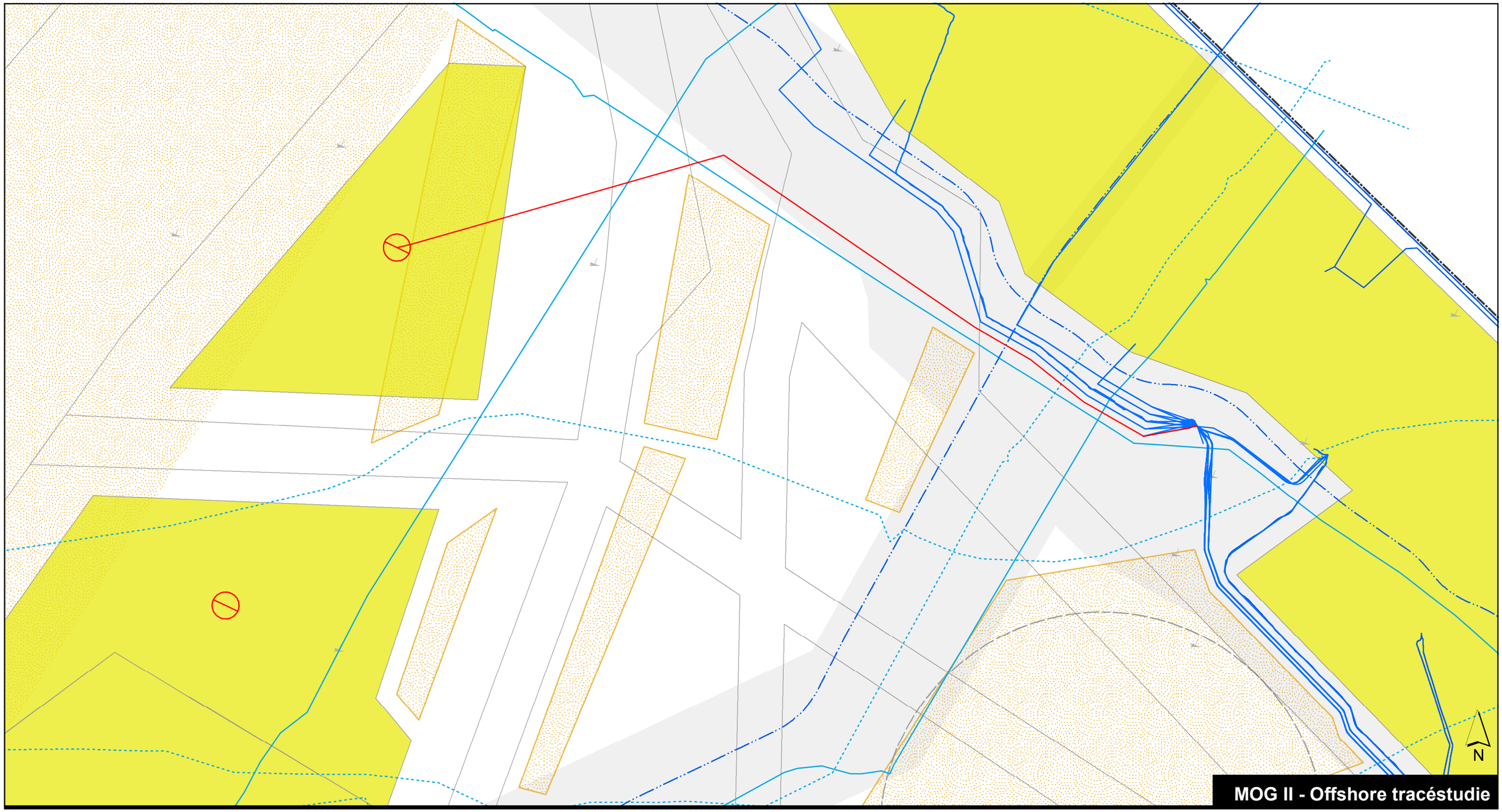
- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

N

0 0,5 1 2 3 4 5 Km

1:100.000

ARCADIS



MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART C_2

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 0,5 1 2 3 4 5 Km

1:100.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | PART D

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:200.000

N

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Tracéalternatieven | Voorbeeld gecombineerde delen
(PART A_Wenduine Oost_1 + PART B_2 + PART C_2 + PART D)

- MOG II cables
- Power cables
- Pipelines
- Telecom cables - Out of service
- Telecom cables - In service
- Renewable energy area
- Sand extraction area
- Area for industrial and commercial activities
- Shipping lanes
- Shipping lanes - Dredged areas
- Harbor extension area
- Spoil dump site
- Spoil dump site - Reservation site
- Area for defusing mines
- Protected wrecks
- Wrecks
- Marine innovation project location
- Measuring poles and radar towers
- Reference area calibration acoustic instruments
- Test area sea defence
- Corridor for cables and pipelines

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:250.000

ARCADIS

MOG II - Offshore tracéstudie

Voorbeeld gecombineerde delen
(PART A_Wenduine Oost_1 + PART B_2 + PART C_2 + PART D)

Weerstand

Lage weerstand

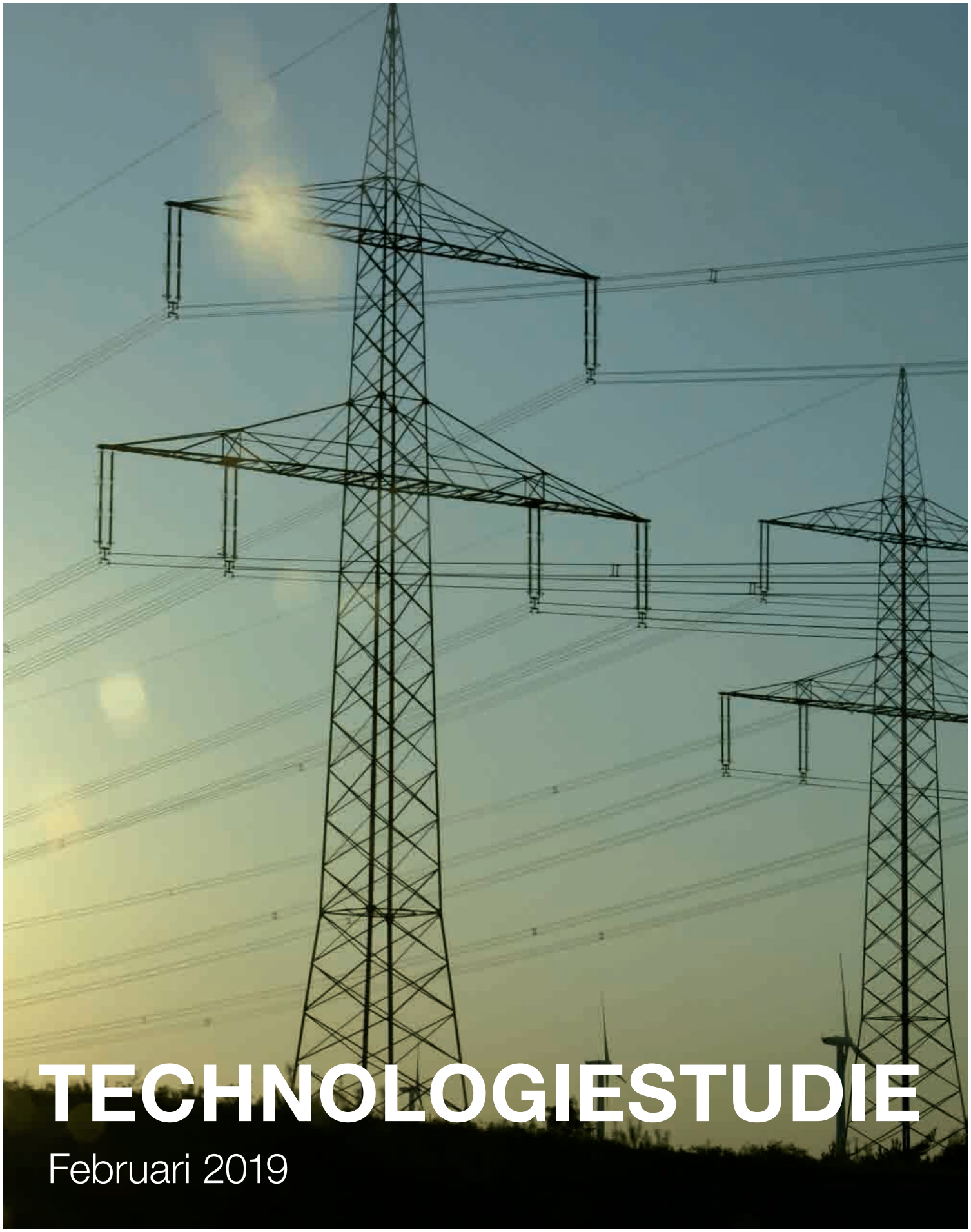
Hoge weerstand (te vermijden)

0 1 2 4 6 8 10 Km

1:300.000

N

ARCADIS



TECHNOLOGIESTUDIE

Februari 2019

elia

Vitaal in een wereld die vooruitgaat

Inhoudsopgave

Overzicht

1 → NIET-TECHNISCHE SAMENVATTING 7

2 → INLEIDING EN DOELSTELLING 17

3 → USE CASE 19
3.1 — Stevin-Avelgem ("Ventilus") 20
3.2 — Avelgem-Centrum ("Boucle du Hainaut") 21
3.3 — Eigenschappen van de verbinding 21
3.3.1 — Vermogen 21
3.3.2 — Spanning 23
3.3.3 — Afstand 23
3.3.4 — Belasting 23

4 → BESTUDEERDE TECHNOLOGIEËN 25
4.1 — AC-technologie 26
4.1.1 — Bovengronds – luchtlijn 26
4.1.1.1 — Geleiders 27
4.1.1.2 — Masten 28
4.1.1.2.1 — Functies van de masten 29
4.1.1.2.2 — Types van masten 30
4.1.1.2.3 — Hoogte 31
4.1.1.3 — Technologie toegepast op de case study 31
4.1.2 — Ondergronds 31
4.1.2.1 — Kabel 31
4.1.2.1.1 — Vermogen 32
4.1.2.1.2 — Reactieve energie bij AC-kabels 33
4.1.2.1.3 — Spanningsopbouw en spanningssprongen 35
4.1.2.1.4 — Resonantie 35
4.1.2.1.5 — Technologie toegepast op case study 36
4.1.2.2 — GIL 36
4.1.2.2.1 — Toepassing op case study 37
4.1.2.3 — Supergeleider 37
4.1.2.4 — Toepassing technologie op case study 38
4.2 — DC-technologie 38
4.2.1 — Conversiestations 39
4.2.1.1 — Topologieën 40
4.2.1.2 — Vermogen 41
4.2.1.3 — Impact van een luchtlijn 41
4.2.1.4 — Technologie toegepast op case study 41
4.2.2 — Bovengronds – luchtlijn 42
4.2.2.1 — Algemeen 42
4.2.2.2 — Mastsilhouet 42
4.2.2.3 — Technologie toegepast op case study 43
4.2.3 — Ondergronds 44
4.2.3.1 — Kabel 44
4.2.3.2 — Technologie toegepast op de case study 45
4.2.3.3 — GIL 45
4.2.3.4 — Supergeleider 45

5 → EVALUATIECRITERIA 47
5.1 — Technisch 48
5.1.1 — Betrouwbaarheid & beschikbaarheid 48
5.1.2 — Impact op de netuitbating 48
5.1.3 — Maturiteit 49
5.1.4 — Flexibiliteit en aftakkingen 49
5.1.5 — Opportuniteiten 49
5.2 — Economisch 50
5.2.1 — Investeringskost 50
5.2.2 — Onderhoudskost 51
5.2.3 — Netverliezen 51
5.3 — Impact op milieu & omgeving 51

5.3.1 — Grondinname tijdens en na werken 51
5.3.2 — Visuele impact 51
5.3.3 — Geluid 52
5.3.4 — Magnetische velden 52
5.3.5 — Broeikasgasemissies 53

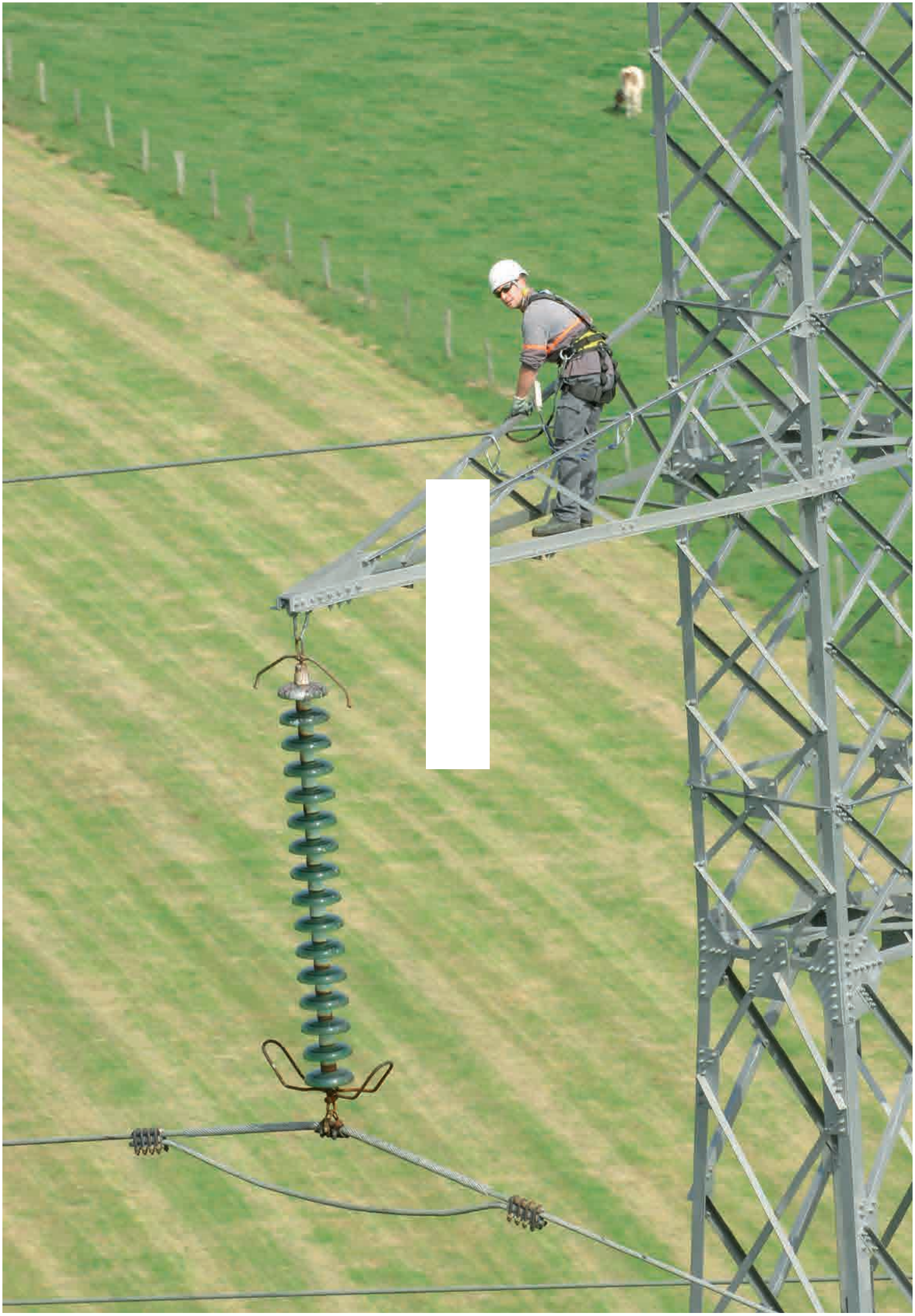
6 → TECHNISCHE ANALYSE 55
6.1 — Betrouwbaarheid & beschikbaarheid 56
6.1.1 — AC-technologie 56
6.1.1.1 — Luchtlijn 56
6.1.1.2 — Kabel 57
6.1.1.3 — GIL 58
6.1.1.4 — Supergeleiders 58
6.1.1.5 — PST 58
6.1.2 — DC-technologie 58
6.1.2.1 — LCC 58
6.1.2.2 — VSC 59
6.1.2.3 — Verbinding 59
6.1.3 — Conclusie 59
6.2 — Impact op netuitbating 59
6.2.1 — AC-technologie 59
6.2.1.1 — Luchtlijn 59
6.2.1.2 — Kabel 60
6.2.1.3 — GIL 61
6.2.1.4 — Supergeleiders 61
6.2.1.4.1 — Complexiteit 61
6.2.1.4.2 — Netfenomenen 61
6.2.1.4.3 — Kortsluitstroom 61
6.2.1.4.4 — Netopbouw 62
6.2.2 — DC-technologie 62
6.2.2.1 — Conversiestations 62
6.2.2.2 — Verbinding 63
6.2.3 — Conclusie 63
6.3 — Maturiteit 64
6.3.1 — AC-technologie 64
6.3.1.1 — Luchtlijn 64
6.3.1.2 — Kabel 64
6.3.1.3 — GIL 64
6.3.1.4 — Supergeleiders 64
6.3.2 — DC-technologie 65
6.3.2.1 — Conversiestations 65
6.3.2.2 — Luchtlijn 65
6.3.2.3 — Kabel 66
6.3.2.4 — GIL 66
6.3.2.5 — Supergeleiders 66
6.3.3 — Conclusie 66
6.4 — Aftakkingen 67
6.4.1 — AC-technologie 67
6.4.1.1 — Luchtlijn 67
6.4.1.2 — Kabel 67
6.4.1.3 — GIL 67
6.4.1.4 — Supergeleiders 67
6.4.2 — DC-technologie 67
6.4.2.1 — VSC 67
6.4.2.2 — LCC 68
6.4.3 — Conclusie 68
6.5 — Opportuniteiten 69
6.5.1 — AC-technologie 69
6.5.1.1 — Luchtlijn 69
6.5.1.2 — Kabel 69
6.5.1.3 — GIL 69
6.5.1.4 — Supergeleiders 69
6.5.2 — DC-technologie 69
6.6 — Conclusie 71

7 → ECONOMISCHE ANALYSE 75
7.1 — Investeringskost 76
7.1.1 — Basisveronderstellingen AC-technologie 76
7.1.1.1 — Eindstations 76
7.1.1.2 — Luchtlijn 76
7.1.1.3 — Kabel 76
7.1.1.3.1 — Tunnel 77
7.1.1.3.2 — Reactieve compensatie 77
7.1.1.3.3 — Tussenstations 77
7.1.1.3.4 — Transformatie naar 220kV 78
7.1.1.4 — GIL 78
7.1.2 — Basisveronderstellingen DC-technologie 78
7.1.2.1 — Conversiestations 78
7.1.2.2 — Luchtlijn 80
7.1.2.3 — Kabel 80
7.1.3 — Conclusie 80
7.2 — Jaarlijkse kost: netverliezen & onderhoudskost 82
7.2.1 — AC-technologie 82
7.2.1.1 — Luchtlijn 82
7.2.1.2 — Kabel 82
7.2.1.3 — GIL 83
7.2.1.4 — PST 84
7.2.2 — DC-technologie 84
7.2.2.1 — Conversiestations 84
7.2.2.2 — Luchtlijn 84
7.2.2.3 — Kabel 85
7.3 — Totale annuïteit 86

8 → IMPACT OP MILIEU & OMGEVING 89
8.1 — Grondinname tijdens & na de werken 90
8.1.1 — AC-technologie 90
8.1.1.1 — Luchtlijn 90
8.1.1.2 — Kabel 90
8.1.1.3 — GIL 93
8.1.1.4 — PST 93
8.1.2 — DC-technologie 93
8.1.2.1 — Conversiestations 93
8.1.2.2 — Luchtlijn 93
8.1.2.3 — Kabel 93
8.1.3 — Overzicht 93
8.2 — Visuele impact 94
8.2.1 — AC-technologie 94
8.2.1.1 — Luchtlijn 94
8.2.1.2 — Kabel 95
8.2.1.3 — GIL 96
8.2.2 — DC-technologie 96
8.2.2.1 — Conversiestation 96
8.2.2.2 — Luchtlijn 96
8.2.2.3 — Kabel 97
8.3 — Geluid 97
8.3.1 — AC-technologie 97
8.3.1.1 — Luchtlijn 97
8.3.1.2 — Kabel 97
8.3.1.3 — GIL 97
8.3.2 — DC-technologie 97
8.3.2.1 — Conversiestation 97
8.3.2.2 — Luchtlijn 98
8.3.2.3 — Kabel 98
8.4 — Magnetische velden 98
8.4.1 — AC-technologie 98
8.4.1.1 — Luchtlijn 98
8.4.1.2 — Kabel 101
8.4.1.3 — GIL 102
8.4.2 — DC-technologie 102
8.5 — Broeikasgasemissies 102
8.5.1 — Elektrische verliezen 102
8.5.2 — SF_6 102

9 → HYBRIDE SYSTEMEN 105
9.1 — Technologie voor plaatselijk ondergronds brengen van AC-luchtlijn 106
9.1.1 — DC-kabels 106
9.1.2 — AC-GIL 106
9.1.3 — 220kV-kabels 107
9.1.4 — 380kV-kabels 107
9.2 — Afstand van de ondergrondse AC-kabelverbinding 107
9.2.1 — Beperkt overgangsstation 107
9.2.2 — Volledig overgangsstation 109
9.2.3 — Hoeveel keer ondergronds? 110
9.3 — Conclusie 111

10 → CONCLUSIE 113
11 → LIJST MET AFKORTINGEN 115



Niet-technische samenvatting

3.1 | Stevin-Avelgem (“Ventilus”)
3.2 | Avelgem-Centrum (“Boucle du Hainaut”)
3.3 | Eigenschappen van de verbinding
3.3.1 | Vermogen
3.3.2 | Spanning
3.3.3 | Afstand
3.3.4 | Belasting

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

I Niet-technische samenvatting

PROCES

Deze technologiestudie werd door Elia opgesteld vanuit haar expertise als transmissienetbeheerder. Elia heeft over de inhoud van voorliggende technologiestudie van gedachten gewisseld met andere netbeheerders in het kader van organisaties zoals ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) en CIGRE[1]. Er vonden ook uitwisselingen plaats - voornamelijk confidentiële - met de belangrijkste leveranciers van de bestudeerde technologieën.

De studie werd ook voorgelegd aan een academische stuurgroep samengesteld uit professoren van de KULeuven, UGent, Université Catholique de Louvain, UMons en de Université Libre de Bruxelles. In een tweede fase zal Elia over deze technologiestudie een formeel advies inwinnen. Hierna volgt de niet-technische samenvatting van deze studie.

INLEIDING

Voor België is de energietransitie een opportuniteit om naar een Europees geïntegreerd elektriciteitssysteem te evolueren met een groeiend aandeel hernieuwbare energiebronnen, waarbij het volledige binnenlandse potentieel wordt gevaloriseerd en wordt aangevuld met elektriciteit die via extra interconnecties wordt ingevoerd. Om de voordelen van de energietransitie volop te benutten, is het belangrijk dat Elia de netinfrastructuur tijdig kan opleveren. Dat vraagt een netontwikkeling die op trends anticipeert en op de nodige ondersteuning kan rekenen.

Deze proactieve netontwikkeling berust op diverse projecten. Bij deze technologiestudie gaat de aandacht naar twee verbindingen die voor de verdere uitbouw en versterking van de interne backbone (de autosnelweg van het elektriciteitsnet) zullen zorgen:

- De versterking van de as westen-centrum door de aanleg van een nieuwe verbinding vanuit Avelgem naar het centrum, de zogenoemde *Boucle du Hainaut*, die noodzakelijk is om interne bottlenecks te vermijden en de verdere integratie van hernieuwbare energie met intensieve uitwisselingen over de grenzen zal mogelijk maken.
- De nieuwe verbinding, *Ventilus*, tussen Stevin en Avelgem met als doel de nieuwe offshore windparken aan te sluiten, het netwerk robuuster te maken, nieuwe onshore productie aan te sluiten in West-Vlaanderen en een tweede onderzeese verbinding met het Verenigd Koninkrijk mogelijk te maken.

Deze twee verbindingen worden samen met de bijhorende achterliggende hypothesen gedetailleerd toegelicht in een afzonderlijke ambitienota alsook in het Federaal Ontwikkelingsplan[2]. Voorliggende technologiestudie vergelijkt verschillende technologieën op basis van diverse beoordelingscriteria en bepaalt op het einde welke technologie geschikt is voor Ventilus en Boucle du Hainaut.

De verbindingen die in deze studie aan bod komen, hebben elk een afstand die schommelt tussen de 50 km à 100 km. De afstand kan variëren vermits de definitieve tracés tot op heden nog niet gekend zijn. Verder heeft elke verbinding ook een capaciteit van 6GW. De verbindingen maken ook deel uit van de Belgische backbone (de belangrijkste hoogspanningsverbindingen) en spelen dus een cruciale rol voor het transport van grote vermogens die aan een duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem bijdragen.

1 CIGRE is een wereldwijde organisatie die zich inzet voor de gemeenschappelijke ontwikkeling en het delen van expertise op het gebied van energiesystemen. Voor meer informatie: https://www.cigre.org/GB/about/introducing-cigre

2 www.elia.be/~/media/files/Elia/publications-2/Public-Consultation/2018/FDP/181008_BOOK_ELIA_NL_BrochurePlanFederal.pdf maart 1981.

Zowel de Ventilus als de “Boucle du Hainaut” hebben dezelfde karakteristieken en de analyse is voor beide verbindingen gelijklopend. In deze studie spreken we over de usecase, en die verwijst ofwel naar de “Ventilus”, ofwel naar de “Boucle du Hainaut”. Wanneer we beide verbindingen samen in beschouwing nemen, wordt dit expliciet vermeld.

De analyses zijn alleen voor de use-cases van toepassing en kunnen niet veralgemeend worden naar andere projecten. De analyse gebeurt ook op basis van de elementen die vandaag gekend zijn en het resultaat van de analyse is dan ook de technologie die op dit ogenblik het meest geschikt is voor Ventilus en Boucle du Hainaut.

DE BESTAANDE TECHNOLOGIEËN

De bestudeerde technologieën worden opgedeeld in twee families: de AC-(wisselstroom)- en DC-(gelijkstroom)technologie. Het Europese en dus ook het Belgische elektriciteitsnet is gebaseerd op wisselstroom, waarbij stroom en spanning 50 keer per seconde heen en weer wisselen van richting (50Hertz). Een AC-netwerk kan op eenvoudige en efficiënte wijze (door middel van transformatoren) de spanning transformeren van hoge spanningen, geschikt voor het transport van elektriciteit, naar lagere spanningen, geschikt voor machines en huishoudelijke toestellen. Het AC-netwerk wordt driefasig uitgevoerd, dat wil zeggen dat elk circuit uit drie van elkaar geïsoleerde geleiders (kabels/lijnen) bestaat.

Bij DC of gelijkstroom vloeien de stroom steeds in dezelfde richting en blijft de spanning constant[3]. Dit impliceert dat gelijkstroom moet worden omgezet in wisselstroom (AC), omdat het Europese (en dus ook Belgische) net uitgebaat wordt in wisselstroom. De omzetting van DC naar AC en vice versa gebeurt in een conversiestation. Een DC-netwerk wordt tweefasig uitgevoerd, elk circuit bestaat uit twee van elkaar geïsoleerde geleiders (kabels/lijnen).

De studie bestudeert twee types van conversiestations namelijk de VSC (Voltage Source Converters) en de LCC (Line Commutated Converters). Een LCC-conversiestation maakt aftakkingen (analogie met autostrade: op- en afritten) quasi onmogelijk, neemt een dubbel zo grote oppervlakte in en produceert meer geluid dan het VSC-station. Bijkomend werkt het LCC-conversiestation niet bij zwakkere netten (bv. netten die een doodlopend einde hebben), is het minder betrouw- en beschikbaar door onderhoud en herstellingen. In de technologiestudie komt het LCC-conversiestation uitvoerig aan bod maar in deze samenvatting ligt de focus op het VSC-station.

Binnen beide technologieën (AC en DC) wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds een bovengrondse luchtlijn en anderzijds ondergrondse technologieën zoals kabels, GIL (Gas Insulated transmission Lines) en supergeleiders.

Bij de luchtlijn fungeert lucht als isolator en kenmerkend is de aanwezigheid van masten/pylonen waaraan verschillende circuits (verschillende sets van 2 of 3 geleiders bij respectievelijk DC en AC) kunnen hangen. De afstand tussen de geleiders is afhankelijk van het gebruikte spanningsniveau. Bij hogere spanningsniveaus moeten de geleiders dus verder uit elkaar worden geplaatst omdat er meer elektrische isolatie nodig is.

De ondergrondse kabel wordt meestal geïsoleerd door XLPE (cross linkedpolyethyleen). Bij verbindingen op het land is bij hoogspanning voor elke fase een afzonderlijke kabel nodig. Kenmerkend bij AC-kabels is dat er veel reactieve energie geproduceerd wordt die gecompenseerd dient te worden. Dit gebeurt door middel van het plaatsen van shuntreactoren (spoelen) op de uiteinden en in tussenstations. DC-kabels genereren geen reactief vermogen en daarom zijn shuntreactoren en de bijhorende tussenstations niet noodzakelijk.

3 Opmerking: dit geldt enkel zolang de te transporteren energie in dezelfde richting moeten vloeien. Indien deze omkeert, zal ofwel de stroom van richting veranderen, ofwel de spanning ompolen.

De GIL bestaat uit met gas gevulde buizen die in een tunnel worden geplaatst. De isolatie gebeurt met een gasmengsel dat uit 20% SF_6 en 80% N2 bestaat. Bij de AC-technologie zijn er drie buizen per circuit en bij de DC-technologie twee buizen.

Bij zeer lage temperaturen wordt de elektrische weerstand van sommige materialen quasi nul en kunnen deze dan een groot vermogen transporteren. Dit fenomeen wordt suprageleiding genoemd. Een supragelei der kan hierdoor in theorie op eenzelfde spanning grotere vermogens transporteren dan een klassieke kabel. Om de lage temperaturen te bereiken (+/- 200°C onder nul) moet continu vloeibaar stikstof of zelfs vloeibaar helium door de kabel worden gepompt. Voor de isolatie kan een vast materiaal zorgen, net zoals bij klassieke kabels, maar ook vloeibare stikstof kan als isolatie fungeren.

EVALUATIECRITERIA

Allereerst wordt een technische analyse uitgevoerd, vervolgens een economische en tenslotte wordt de impact van de technologieën op het milieu en de omgeving beschreven. Op basis van de technische vereisten wordt bepaald of een of een technologie op dit moment technisch haalbaar is en of deze geschikt is voor de use-case (Ventilus of Boucle du Hainaut). Onder de technische analyse vallen volgende criteria:

- Betrouwbaarheid & beschikbaarheid: doen er zich vaak incidenten voor en hoe hoog is de beschikbaarheid van de technologie?
- Impact op de netuitbating: kan het net op een zekere, efficiënte en veilige manier uitgebaat worden?
- Maturiteit: werden/worden er gelijkaardige projecten (afstand en vermogen) gerealiseerd?
- Aftakkingen: kunnen er “eenvoudig” nieuwe bouwblokken langsheen de verbinding in het net bijgeplaatst worden, bijvoorbeeld een injectie naar een lager spanningsniveau

Voor de use-case wordt gekeken of een technologie aan deze criteria kan voldoen.

Vervolgens wordt een economische analyse uitgevoerd. Hierbij wordt gekeken naar de investerings- en onderhoudskost alsook naar de kost van de netverliezen voor de volledige verbinding. Voor de volledigheid worden er ook technologieën vermeld die technisch niet geschikt zijn voor deze use-case.

De impact op het milieu en de omgeving wordt beschreven aan de hand van criteria zoals grondinname (zowel tijdens als na realisatie), de visuele impact, het geluid, de aanwezigheid van magnetische velden en de broeikasgasemissies. Dit milieu en omgevingsaspect wordt niet in aanmerking genomen om de geschikte technologie voor de use-case te bepalen.

CONFIGURATIE VAN DE TECHNOLOGIEËN

Per technologie worden volgende configuraties verondersteld:

- AC-luchtlijn: de verbinding bestaat uit compacte masten en wordt uitgebaat op 380 kV en heeft 2 circuits (2 x 3 geleiders) van 3GW (cfr. gebruikte technologie bij het Stevin project).
- DC-luchtlijn (met VSC-conversiestation):
  - Om te kunnen werken met 2 circuits van elk twee geleiders (2x2 geleiders) en rekening houdend met het gevraagde vermogen is er een spanning nodig van ±500 kVdc. In dit geval kan een gelijkaardige mast als voor de AC-luchtlijn gebruikt worden en zijn 4 conversiestations nodig.

  - Ook een variant op een lagere spanning, nl. ±320 kVdc wordt bestudeerd in de technologiestudie, maar dan zijn er 8 conversiestations en 2 mastenrijen nodig (of één complexe mast) om het vermogen te bereiken, wat gelet op de impact op de omgeving en economisch gezien niet interessant is. In deze samenvatting wordt hierop dan ook niet in detail ingegaan.

- **AC-kabels:**
  - De transportcapaciteit van AC-kabels is beperkt en daarom zijn op 380 kV 6 circuits (dus 6 x 3 geleiders/kabels) nodig die op een zeker afstand van elkaar onder de grond worden geplaatst. Tussenstations en shuntreactoren zijn noodzakelijk om het reactief vermogen van de kabels te compenseren.
  - In de technologiestudie wordt ook een kabelverbinding op 220 kV bestudeerd. Omdat het reactief vermogen minder is bij een lagere spanning, kunnen de tussenstations bijna dubbel zo ver uit elkaar geplaatst worden. Er zijn dan wel 10 circuits (10 x 3 geleiders) nodig en aan beide uiteinden transformatoren, wat een belangrijke impact heeft op het ruimtegebruik. In deze samenvatting gaan we hier niet dieper op in.
- DC-kabels zijn net als AC-kabels beperkt in vermogen. Om het aantal parallelle systemen te beperken wordt enkel ±500 kV bestudeerd. Hierdoor zijn 4 circuits (4 x 2 kabels) nodig om 6 GW te bekomen. Er moeten 4 conversiestations worden voorzien waarbij de circuits 2 per 2 gebundeld worden.
- AC-/DC-GIL: twee circuits met 3 en 2 geleiders voor respectievelijk de AC- en DC-GIL zullen voldoende zijn om de 6GW te kunnen realiseren, op voorwaarde dat deze in een gekoelde tunnel worden geplaatst.
- Supergeleiders: hypothetisch gezien zouden hiervoor 2 circuits nodig (2x3 geleiders en 2x2 geleiders.

TECHNISCHE ANALYSE

Als er een nieuwe verbinding gebouwd wordt over 50 à 100km met een capaciteit van 6GW en 3GW gegarandeerd bij onderhoud of incident, is het van belang dat deze verbinding goed functioneert, een hoge beschikbaarheid heeft, zo weinig mogelijk risico's met zich meebrengt voor de netuitbating, betrouwbaar is en dus voldoet aan de criteria die vooropgesteld worden.

Het technische aspect wordt in de technologiestudie meer in detail uitgewerkt. Aangezien de informatie voor elke technologie die aan bod komt, zeer specifiek is en de nodige nuancering vraagt, worden hier alleen de hoofdboodschappen opgenomen. We benadrukken nogmaals dat de analyse ook alleen van toepassing is voor de use-case en niet veralgemeend kan worden naar andere projecten.

Voor de AC- en DC-supergeleiders en de DC-GIL stellen we vast dat deze nog niet beschikbaar zijn op de markt voor onze use-case en ook de AC-GIL nog zeer onmatuur is. Labo-onderzoek is nog lopende, er werden hooguit nog maar enkele pilootprojecten op lagere spanning, met kleinere capaciteit en/of voor een kortere afstand gerealiseerd. Door de beperkte maturiteit en onbestaande kennis over deze technologieën is het dan ook niet aanvaardbaar en technisch haalbaar om deze te integreren in onze backbone. Bijgevolg zullen deze technologieën in deze samenvatting niet meer worden besproken.

De AC-kabel werd tot op heden nog niet gerealiseerd voor een dergelijke afstand (50 à 100km) en/of dergelijk vermogen (6GW). Voor het Stevin-project werd een afstand van 10km gerealiseerd voor een kleiner vermogen. De combinatie van kabels en shuntreactoren zorgt voor fenomenen (zoals harmonische frequenties) die in

het systeem optreden en de stabiliteit van het net in gevaar kunnen brengen. Gelet dat deze verbinding deel zal uitmaken van onze backbone primeert de veilige netuitbating. Op basis van de technische criteria is deze technologie niet haalbaar voor de use-case.

Een DC-verbinding heeft een aantal voordelen: zo is er bijvoorbeeld nauwelijks een limiet op de lengte van een ondergrondse kabel en kan het vermogen volledig gestuurd worden in de gewenste richting. Voor andere Elia-projecten worden deze technologieën al ingezet zoals bij Alegro en de SuedOstLink (Duitsland). De karakteristieken (vermogen, afstand, functionaliteiten, aftakkingen, …) van deze projecten zijn echter niet te vergelijken met deze van de use-case.

Specifiek voor deze use-case zijn de bevindingen van deze studie dat een DC-verbinding (luchtlijn of kabel) met de huidige stand van de technologie geen geschikte oplossing is en dit om verschillende redenen: te weinig flexibiliteit om aftakkingen (o.a. verbindingen met lokale netten) te realiseren, een lagere beschikbaarheid en risico's op netfenomenen.

De AC-luchtlijn is een gekende technologie die wereldwijd al verschillende decennia wordt gebruikt en dus een hoge maturiteit heeft. Vermits het Belgische hoogspanningsnet alsook het Europese net bijna volledig is opgebouwd uit uitrustingen op basis van AC-technologie, is het integreren van een bijkomende AC-luchtlijn relatief eenvoudig te realiseren. Bovendien hebben deze verbindingen een goede betrouwbaarheid en beschikbaarheid. Verder zijn aftakkingen zeer eenvoudig te realiseren, wat resulteert in een hoge flexibiliteit voor de toekomst.

Uit de technische analyse en gebaseerd op de technische criteria, kunnen we concluderen dat de AC-luchtlijn, gelet op de stand van zaken van de technologie, de geschikte technologie is voor de use-case. We herhalen nogmaals dat de technologie specifiek is voor Ventilus en Boucle du Hainaut en dus voor de volledige verbinding. Een technologie kan wel geschikt zijn voor een korte/lagere afstand en/of beperktere capaciteit maar niet voor de beschouwde verbinding.

ECONOMISCHE ANALYSE

De economische analyse geeft een overzicht van de investerings- en onderhoudskost alsook de kost van de netverliezen[3] per jaar voor een 6GW-verbinding over 75 km (gemiddelde afstand genomen voor de verbinding). Ter illustratie wordt er in de studie ook een inschatting gemaakt van de kosten voor de technologieën die technisch niet haalbaar zijn. De cijfers opgenomen zijn inschattingen van de technologieën in hun goedkoopste samenstelling.

Voor de volledigheid wordt de investeringskost van de DC-kabel en -luchtlijn ook berekend en deze ligt respectievelijk 11 maal en 9 maal hoger dan de AC-luchtlijn die technisch te verkiezen is voor deze use-case. Bij de DC-technologie wordt de hoge kostprijs voornamelijk verklaard door de aanwezigheid van de conversiestations (2/3de van de prijs). De AC-kabel en de AC-GIL, waarvoor de technische analyse ook ongunstig is, hebben een investeringskost die respectievelijk 6 tot 7 keer hoger ligt dan deze van de AC-luchtlijn. Voor de AC-kabel werd er bovendien uitgegaan van het best-case scenario waarbij er maar één tussenstation nodig zou zijn.

De AC-luchtlijn heeft in vergelijking met alle technologieën de laagste onderhoudskost en kost voor netverliezen. Bij de DC-luchtlijn en –kabel liggen deze aanzienlijk hoger dan bij de AC-luchtlijn omdat de conversiestations meer onderhoud met zich mee brengen en voor grote netverliezen zorgen.

De AC-luchtlijn komt dus globaal gezien als goedkoopste technologie uit de vergelijking.

4

Bij transport van elektriciteit gaat altijd een (klein) deel van de elektriciteit verloren. Dit verlies wordt onder andere veroorzaakt door de weerstand in de geleiders en in de hoogspanningsuitrustingen.

OMGEVING & MILIEU

Een nieuwe verbinding heeft uiteraard ook een impact op de omgeving en het milieu. In de studie worden verschillende aspecten beschreven zonder hieraan een beoordeling van “beste” technologie te koppelen vermits zo’n beoordeling moeilijk te objectiveren valt. De impact van elke technologie wordt ter informatie beschreven niettegenstaande dat uit de technische en economische analyse voortvloeit dat de AC-luchtlijn de toe te passen technologie is voor de use-case.

→ Grondinname en gebruik van de corridor

De grondinname tijdens en na de werken is sterk verschillend voor de technologieën. Bij de AC-kabel is er nood aan een werfzone van 70 meter terwijl een DC-kabel ongeveer 40 meter is. Bij de AC- en DC-luchtlijn wordt een werfzone van 50m op 50m voorzien rond de pyloon.

Na de werken zal bij de AC-en DC-luchtlijn een blijvende grondinname zijn door de pylonen. Bij de DC-technologieën nemen de conversiestations blijvend een aanzienlijke ruimte in. Voor deze verbinding zijn langs elke zijde van de verbinding 2 conversiestations nodig (dus 4 in totaal). Langs elke zijde zal dit 6ha tot 9ha in beslag nemen of dus in het totaal tussen de 12ha à 18ha (of 24 à 36 voetbalvelden).

Bij de AC-kabel zal het tussenstation met de 42 shuntreactoren ook de nodige ruimte in beslag nemen. Afhankelijk van het spanningsniveau waarop de AC-kabel wordt uitgebaat, zal een totale oppervlakte vanaf 12ha tot 33ha (24 tot 66 voetbalvelden) nodig zijn.

Na de werken wordt het gebruik van de corridor bij een luchtlijn beperkt door de aanwezigheid van de pylonen. Maar onder de corridor zelf kan landbouw doorgaan en kan er gebouwd worden indien de pylonen voldoende verhoogd zijn. Er moet wel gewaarborgd worden dat de bomen niet te dicht bij de luchtlijn komen. Bij de AC – en DC-kabel is het grondgebruik na het plaatsen van de kabel gelimiteerd: op het terrein dat erboven ligt, mag niet meer gebouwd of gestapeld worden en ook verscheidene landbouwactiviteiten zijn niet meer mogelijk en dit voor een breedte van respectievelijk 20, 5 en 6 meter.

→ Visuele impact

Indien een DC-luchtlijn op hogere spanning (±500 kVdc) wordt uitgebaat, is de minimale afstand tussen de geleiders groter dan bij de AC-luchtlijn. Ondanks het feit dat er bij DC maar 2 geleiders per circuit zijn, blijft een ±500 kV_{dc} mast dus minstens even groot als een 380 kV_{ac} mast. Voor een ±320 kV DC-luchtlijn zijn de afstanden tussen de geleiders vergelijkbaar met een 380 kV AC-luchtlijn maar om de 6GW te leveren, zijn er 4 circuits (4 x 2 geleiders) nodig, wat 2 mastenrijen impliceert of één zeer brede mast. Ongeacht of het AC- of DC-luchtlijnen zijn, schommelt de hoogte van de mast rond 50 meter.

Bij de DC-technologieën zorgen de grote conversiestations (4 in totaal) voor een aanzienlijke visuele impact. De stations zijn een 20-tal meter hoog en nemen ook veel ruimte in beslag.

→ Geluidshinder

Qua geluid kan er bij de luchtlijn een beperkt corona-effect (knetterend geluid van de geleiders bij vochtig weer) optreden. Dit is bij de compacte AC-luchtlijn beperkter dan bij de klassieke luchtlijnen 380 kV dankzij het gebruik van nieuwe technologieën. Bij de DC-luchtlijn zal dit corona-effect sterker zijn en om dit onder controle te houden bestaat de kans dat er bijkomende geleiders geplaatst moeten worden. Bij de DC-oplossingen zorgt het conversiestation voor het bijhorende omgevingslawaai. Bij de AC-kabel is er ook een grote geluidshinder te verwachten van de shuntreactoren die geplaatst zullen worden. Tot slot heeft de GIL op regelmatige afstanden op het

traject koelinstallaties nodig met bijhorende geluidsproductie.

→ Magnetische velden

Met betrekking tot de magnetische velden heeft een compacte AC-luchtlijn lagere waarden dan de klassieke AC-luchtlijn. De AC-kabels genereren hogere pieken op het terrein gelegen boven deze kabel, maar de velden nemen sneller af dan bij de AC-luchtlijn. De GIL heeft de laagste waarden omdat de velden grotendeels afgeschermd worden door de wand van de buizen. Bij de DC-technologie zijn er geen wisselende magnetische velden aanwezig. Ongeacht de technologie worden de wettelijke bepalingen met betrekking tot magnetische velden nageleefd.

→ Broeikasgasemissies

De AC-GIL en de AC-luchtlijn hebben de laagste broeikasgasemissies uitgedrukt in ton CO_2/jaar rekening houdend met de kenmerken met de karakteristieken van de use-case. Daarna volgt de AC-kabel.

GEDEELTELIJKE ONDERGRONDS BRENGEN VAN AC-LUCHTLIJN

De enige redelijke uitvoering (technisch en economisch) voor de use-case is een AC-luchtlijn. Het ondergronds brengen van een deel van de AC-luchtlijn kan met AC-kabels met extra technische risico's en een aanzienlijke meerkost (12,6M€/km). De AC-kabels hebben een impact op het milieu en de omgeving. Op de plaatsen waar de kabel overgaat in een lijn en vice versa wordt er grond ingenomen. Bijkomend zullen er ook shuntreactoren geplaatst moeten worden om het reactief vermogen te compenseren. Deze installaties brengen geluidshinder met zich mee.

De afstand bij gedeeltelijke verkabeling wordt bepaald door technische limieten die gebaseerd zijn op de spanningsstijgingen die beperkt moeten worden en de beheersbaarheid van neteffecten (dynamische effecten of resonanties). De combinatie hiervan leidt tot een afstand van 8 km geografische trajectlengte equivalent aan 48 km kabelcircuit per use-case. Het is het aantal effectieve km kabel dat ondergronds wordt geplaatst dat bepalend is voor het gedrag van de kabel in het elektriciteitsnet. Het ondergronds brengen van de luchtlijn wordt best zo weinig mogelijk opgesplitst en in één tot twee keer per use-case gerealiseerd om een verhoogde faalkans van de verbinding te vermijden.

Inleiding en doelstelling

Dit document heeft tot doel verschillende technologieën te vergelijken voor één bepaald project, genaamd de “Boucle du Hainaut”), dat Elia in de toekomst wenst uit te voeren. Deze technologieën dienen te voldoen aan bepaalde technische vereisten en de beoordeling gebeurt op basis van verschillende criteria.

In het 1ste hoofdstuk wordt toelichting gegeven bij de energietransitie in België die aanleiding geeft tot de realisatie van enerzijds *Stevin-Avelgem (“Ventilus”)* en anderzijds *Avelgem-Centrum (“Boucle du Hainaut”)*. Deze technologiestudie, die de mogelijke technologieën met elkaar vergelijkt, wordt uitgevoerd in het kader van de twee projecten Boucle du Hainaut en Ventilus. In dit hoofdstuk worden beide projecten ook meer in detail beschreven en de basisveronderstellingen waar de technologieën een passend antwoord op moeten bieden, worden hier ook medebepaald. Deze twee projecten worden ook in het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 besproken.

Het 2de hoofdstuk geeft een high-level beschrijving van de verschillende technologieën. Hieronder vallen de luchtlijnen, kabels, *Gas-Insulated* transmissielijnen (GIL), supergeleidende kabels alsook hybride systemen.

Het 3de hoofdstuk focust op de criteria waarop de verschillende technologieën geëvalueerd zullen worden. De criteria maken deel uit van drie grote luiken: de technische analyse, de impact op het milieu en de omgeving en de economische analyse. Bij de technische analyse wordt o.a. gekeken naar de vermogens die getransporteerd kunnen worden, de maturiteit van de technologie, de inpassing ervan in het net alsook eventuele extra opportuniteiten. De impact op het milieu en de omgeving omvat criteria zoals bodemgebruik, visuele aspecten, geluidshinder, magnetische velden alsook de CO_2-impact (indien van toepassing). De economische analyse houdt rekening met de globale investeringskost (CAPEX), de kost van het onderhoud alsook de kost die de elektrische verliezen met zich meebrengen.

In het 4de hoofdstuk analyseren we elke technologie op basis van de eerder beschreven criteria.

In het laatste hoofdstuk wordt de volledige analyse nog eens samengevat en wordt een conclusie geformuleerd. Deze conclusie geeft aan welke preferentiële technologie voor het concrete project Elia naar voren zal schuiven.

Elia wenst de lezer er op attent te maken dat de analyse alleen van toepassing is op de use-case en dus niet veralgemeend kan worden naar andere projecten. We houden ook rekening met de huidige stand van zaken voor de verschillende technologieën.

Om de analyse te kunnen uitvoeren, dienen we ook verschillende veronderstellingen te maken. Deze worden in de tekst nog verder uitgewerkt.

Use case

3.1 | Stevin-Avelgem (“Ventilus”)
3.2 | Avelgem-Centrum (“Boucle du Hainaut”)
3.3 | Eigenschappen van de verbinding
3.3.1 | Vermogen
3.3.2 | Spanning
3.3.3 | Afstand
3.3.4 | Belasting

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

III Use case

Het Belgische transmissienet speelt een belangrijke rol in het faciliteren van de transitie van de energiemix in België én in de andere landen rondom de Noordzee.

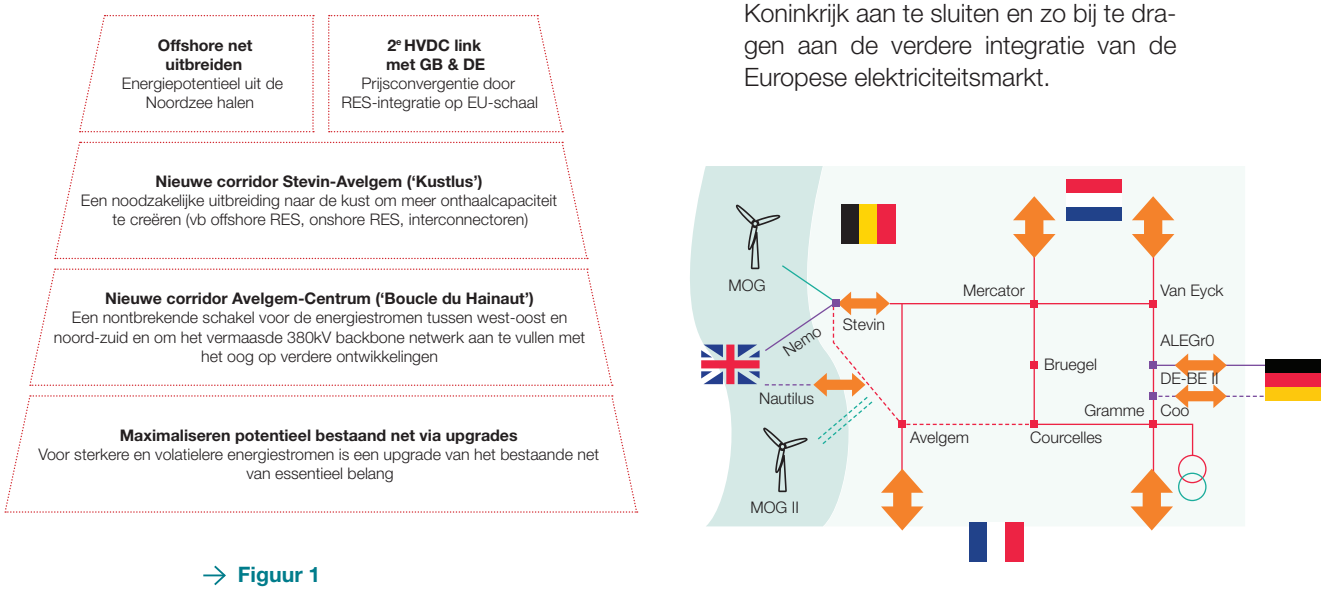
Waar vroeger het 380 kV-net voornamelijk diende om het vermogen van grote centrales te transporteren naar de binnenlandse consument, dient het net nu en in de toekomst te evolueren zodat het meer internationale fluxen en hernieuwbare energieproductie vanuit de Noordzee kan transporteren. De nieuwe verbindingen Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum komen tegemoet aan de behoefte om 6GW transportcapaciteit te voorzien tussen de kust en het centrum van het land.

Bij de ontwikkeling van deze nieuwe verbindingen wordt steeds gekozen voor een oplossing die, in verhouding tot de kost, de meeste baten oplevert. Hier spelen zowel het tegemoet komen aan verschillende (toekomstgerichte) behoeften als de technologiekeuze een belangrijke rol.

3.1 STEVIN-AVELGEM ("VENTILUS")

De belangrijkste drijfveren voor het Ventilus-project zijn:

1. Nood om de hernieuwbare energie van de toekomstige **offshore windparken**, bovenop de bestaande en tegen 2020 geplande windparken, op het Belgische elektriciteitsnet aan te sluiten.
2. Ontwikkelen van een **robuuster netwerk** in de regio. Het belang van de kustregio als toegang tot het hernieuwbare energiepotentieel van de Noordzee neemt aanzienlijk toe bij de energietransitie. Een vermazing met de huidige Stevin-as is noodzakelijk om de onthaalcapaciteit te maximaliseren en de betrouwbaarheid van het net te verzekeren.
3. Onthaalcapaciteit ontwikkelen voor **nieuwe onshore** energieproductie in West-Vlaanderen.
4. Mogelijkheid om een **tweede onderzeese verbinding** met het Verenigd Koninkrijk aan te sluiten en zo bij te dragen aan de verdere integratie van de Europese elektriciteitsmarkt.



→ **Figuur 1**
Investeringspolen 380kV-net uit Federaal Ontwikkelingsplan

Voorstudies wijzen nu reeds uit dat de totale onthaalcapaciteit op het 380kV net voor de regio West-Vlaanderen sterk toeneemt. Om aan deze drijfveren te beantwoorden met het oog op de verdere ontwikkeling van een duurzame toekomst werden netstudies uitgevoerd. Deze concludeert dat de aanleg van een 6GW-verbinding tussen het Stevin-station in Zeebrugge en Avelgem noodzakelijk is om een betrouwbare uitbating van het net en energietransport voor België te verzekeren.

3.2 AVELGEM-CENTRUM ("BOUCLE DU HAINAUT")

De belangrijkste drijfveren voor Boucle du Hainaut zijn de toenemende noden aan transportcapaciteit tussen het westen en het centrum van België door:

1. Groeiende opportuniteiten voor de import van energie aan gunstige groothandelsprijzen, aangezien het aandeel hernieuwbare energie in de productiemix van Frankrijk en Groot-Brittannië aanzienlijk toeneemt.
2. Ontwikkeling van het potentieel aan hernieuwbare energie in de Noordzee en de kustregio.
3. Mogelijke ontwikkeling om een tweede onderzeese verbinding met het Verenigd Koninkrijk aan te sluiten.

Bovendien heeft dit project ook tot doelde betrouwbaarheid van het regionale net in Henegouwen verzekeren en versterken om te kunnen inspelen op de stijgende energiebehoefte van de gemeenschap en bedrijven in de regio. Deze nieuwe verbinding kan met het 150 kV-net in het westen van Henegouwen verbonden worden. Deze regio, die vanuit Avelgem en Courcelles wordt gevoed, vertegenwoordigt reeds een grote belasting en heeft een aanzienlijk groeipotentieel.

Netstudies tonen aan dat de aanleg van een nieuwe 6GW-vebinding tussen Avelgem en het centrum van het land noodzakelijk is om een antwoord te bieden op de bijkomende transportnoden van de toekomst.

3.3 EIGENSCHAPPEN VAN DE VERBINDING

Bij het transport van elektriciteit is het van belang te weten hoeveel elektriciteit (vermogen) over welke afstand vervoerd moet worden. Bijkomend moet men weten op welke spanning deze elektriciteit efficiënt getransporteerd wordt.

3.3.1 Vermogen

Om de uitbouw van een robuust net op een efficiënte manier mogelijk te maken, is de structuur van het net vermaasd. Elke nieuwe verbinding die wordt toegevoegd, bouwt voort op bestaande sterke knooppunten en de verbinding(en) tussen deze knooppunten. Als er een incident is op één van de verbindingen of een verbinding in onderhoud is, dan zorgt de vermaasde structuur ervoor dat de elektriciteit via de overblijvende verbindingen getransporteerd wordt.

Elk project van de use-case zal parallel lopen met een reeds bestaande verbinding van het vermaasde net: "Ventilus" met de verbinding Stevin (Zeebrugge) – Horta (Zomergem) en "Boucle du Hainaut" met de verbinding Horta (Zomergem) – Mercator (Kruibeke). Deze bestaande verbindingen bestaan grotendeels uit 2 circuits met een transportcapaciteit van +/- 3 GW per circuit.[5]

Door de vermazing kunnen deze parallelle verbindingen elkaar ondersteunen in het geval van een netincident of bij een onderhoud, waardoor de betrouwbaarheid verhoogt en maximale transportcapaciteit van beide verbindingen samen groter is dat deze van twee afzonderlijke verbindingen zonder vermazing.

Om nog optimaler gebruik te maken van het vermaasde net kan men op goed gekozen plaatsen in het net installaties plaatsen die

5 Een project is in uitvoering om de verbinding tussen Horta en Mercator te versterken naar 2 x 3GW tegen eind 2019.

het vermogen kunnen sturen. Hierdoor kan het te transporteren vermogen beter verdeeld worden over parallelle verbindingen. Voorbeelden van zulke installaties zijn Phase shifting transformers (PST's) in AC-netten en de conversiestations tussen AC- en DC-netten.

In geval van onderhoud of incident op het hoogspanningsnet moet nog steeds een veilig en betrouwbaar energietransport verzekerd blijven. Dit is een belangrijke voorwaarde bij het ontwikkelen en uitbaten van het 380 kV-net, de ruggengraat van het hoogspanningsnet in België.

Voor zowel "Ventilus" als "Boucle du Hainaut" tonen netstudies aan dat:

- De nieuwe verbindingen een bijkomende transportcapaciteit dienen te creëren van 6GW om een antwoord te bieden op de transportnoden van de toekomst rekening houdend met mogelijke onbeschikbaarheden op het bestaande, omliggende net.
- In geval incident of onderhoud op deze nieuwe verbindingen minimum 3 GW transportcapaciteit beschikbaar moet blijven rekening houdend met de transportcapaciteit van het bestaande, omliggende net.
- Installaties die het vermogen kunnen sturen zullen een positieve bijdrage hebben, maar op het moment van het schrijven van deze studie is niet bevestigd dat deze strikt noodzakelijk zijn. Het net is echter continu in ontwikkeling, waardoor we wel moeten rekening houden dat deze installatie in de toekomst wel noodzakelijk worden. Verder in deze studie zal het sturen van vermogens daarom als een optie worden behandeld.

De verbinding van 6 GW dient dus uit 2 of meerdere circuits te bestaan van maximum 3 GW per circuit.

Er is bovendien nog een technische reden waarom een circuit beperkt moet worden tot 3GW: op bepaalde plaatsen moeten koppelingen gemaakt worden met het bestaande 380 kV-net. Nieuwe onderstations 380 kV (en de uitrusting hiervoor) zijn op de markt beschikbaar tot 5000 A, wat resulteert in een maximaal vermogen per circuit van +/-3 GW.

Bijgevolg is er de basisveronderstelling dat er minstens met **een dubbele verbinding van 2 x 3 GW** gewerkt zal worden. Bijkomend kan men ook meerdere kleinere circuits overwegen, bijvoorbeeld 6 x 1 GW, om zo aan het totale vermogen van 6 GW te geraken.

	AC		DC[6]	
Nominale spanning (Un)	**380 kV**	**220 kV**	**±320 kV**	**±500 kV**
Maximaal toegelaten spanning (Um)	420 kV	245 kV	±336 kV (Un +5%)	±525 kV (Un +5%)
Exploitatie- of uitbatingsspanning	400 kV	225 kV	±320 kV	±500 kV

↑ **Tabel 1**
Spanningsniveaus

6 Andere spanningsniveaus zijn mogelijk

7 Deze afstanden zijn grootteordes waarop de studie van toepassing is.

3.3.2 Spanning

Voor eenzelfde spanningsniveau kunnen verschillende concepten qua spanning worden bepaald:

- Maximaal toegelaten spanning (Um) om de installatie te dimensioneren (voor de isolatieafstanden);
- Nominale spanning (Un) om het spanningsniveau van het betrokken net te benoemen;
- Exploitatie- of uitbatingsspanning; dit is de gemiddelde spanning die in praktijk gebruikt wordt bij uitbating van het net en in rekening wordt genomen bij de berekening van bv. het vermogen.

In de literatuur worden deze concepten door elkaar gebruikt om te refereren naar hetzelfde spanningsniveau. In deze nota bepalen we een spanningsniveau meestal aan de hand van de nominale spanning, behalve indien een ander concept meer van toepassing is.

In deze nota zullen de vier spanningsniveaus uit volgende tabel aan bod komen. Voor AC-oplossingen betreft dit de twee hoogste spanningsniveaus die in het Belgische net worden toegepast, nl. 380 kV en 220 kV. Voor DC-oplossingen wordt de spanning bepaald door de convertoren die aan deze technologie gelinkt zijn (zie hoofdstuk). Hier is er keuze uit verschillende spanningsniveaus. De nominale spanning Un is hier steeds gelijk aan de uitbatingsspanning en de maximaal toegelaten spanning Um is steeds 5% hoger. In de tabel is het voorbeeld gegeven voor ±320 kV en ±500 kV.

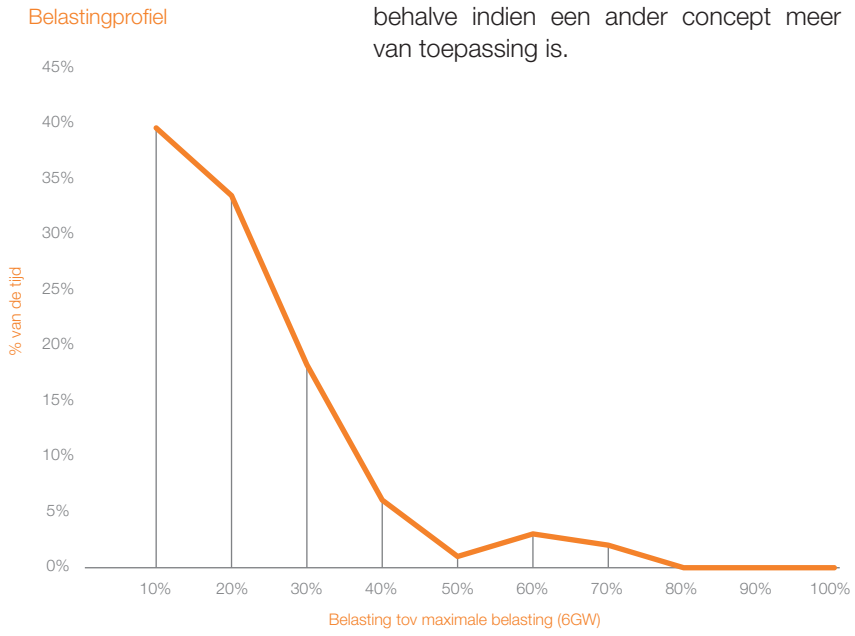
3.3.3 Afstand

Bij het schrijven van deze nota zijn de tracés van de nieuwe verbindingen nog niet gekend. Daarom houden we in deze studie op basis van een grove inschatting rekening met tracélengtes[7] van +/-50 km tot +/-100 km. Voor alle kwantitatieve vergelijkingen wordt een **afstand** van **75 km** in beschouwing genomen. Waar relevant wordt eveneens de vergelijking gemaakt voor de gehele afstandsrange.

3.3.4 Belasting

De verbinding moet bij de **hoogste pieken** in het getransporteerde vermogen nog steeds **redundant** zijn. Bovendien moet de verbinding ook kunnen voldoen aan toekomstige stijgingen van het te transporteren vermogen.

Figuur 2 laat een typisch belastingprofiel zien voor een verbinding 380 kV. Dit wordt in rekening gebracht voor het bepalen van de verliezen en EMF-profielen. De gemiddelde belasting van de verbinding is 20% van het maximaal vermogen van de verbinding. Voor verliezen moet men echter werken met het kwadratisch gemiddelde, d.i. 25% van het maximaal vermogen.[8]



↑ **Figuur 2**
Belastingprofiel voor een 380kV-verbinding

8
Voor resistieve verliezen geldt: Ploss = R . I^2

IV

Bestudeerde technologieën

4.1 | AC-technologie
4.1.1 | Bovengronds – luchtlijn
4.1.2 | Ondergronds
4.2 | DC-technologie
4.2.1 | Conversiestations
4.2.2 | Bovengronds – luchtlijn
4.2.3 | Ondergronds

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

IV Bestudeerde technologieën

Bij de technologieën wordt er een onderscheid gemaakt tussen enerzijds **wisselstroom** of **AC** (Alternating Current) en anderzijds **gelijkstroom** of **DC** (Direct Current).

Bij wisselstroom verandert de stroom (bestaande uit elektronen) steeds van richting en dit volgens een bepaald ritme (frequentie). De elektronen lopen dus van de pluspool naar de minpool en van de minpool naar de pluspool. Hoe vaak dit binnen 1 seconde gebeurt, dat noem je de frequentie. In Europa wisselt de stroom 50 keer per seconde van richting en terug en is de frequentie dus 50 Hertz. Het Belgische energienet is gebaseerd op wisselspanning en een stopcontact werkt dan ook op basis van wisselspanning. Het symbool voor wisselstroom wordt hieronder weergegeven.

Bij gelijkstroom lopen de elektronen alleen van de pluspool naar de minpool; de stroom loopt dus altijd in dezelfde richting. Het laatste decennium is gelijkstroom aan een opmars bezig. Voor verbindingen die onder de zee door lopen en bij zeer zware lijnen die meer dan 1000 kilometer lang zijn is gelijkstroom zelfs de norm geworden.

Binnen deze twee types van stroom wordt er vervolgens ook een onderscheid gemaakt tussen de ondergrondse technologie waaronder de kabel en de GIL en de bovengrondse technologie, namelijk de luchtlijn.

4.1 AC-TECHNOLOGIE

De keuze voor wisselspanning ten voordele van gelijkspanning voor het transport van elektriciteit is historisch gegroeid, aangezien wisselspanning gemakkelijk getransformeerd kon worden van lage spanningen naar hoge spanningen met behulp van een transformator.

Het gebruik van hogere spanningen voor het transport van elektriciteit laat toe om grotere vermogens over langere afstanden te transporteren met lagere verliezen. Voor eenzelfde vermogen zal bij een hogere spanning namelijk een lagere stroom nodig zijn[9]. Aangezien de verliezen in een verbinding kwadratisch in functie van de stroomsterkte zijn[10], zal een hogere uitbatingsspanning (en dus een lagere stroomsterkte) gepaard gaan met lagere verliezen bij het transport van het elektrische vermogen.

Een tweede belangrijk historisch voordeel aan AC is dat men eenvoudig kan schakelen, zelfs bij kortsluiting en op hoge spanningen. Zonder vermogensschakelaar is het niet mogelijk om een fout selectief uit te schakelen en is het dus ook niet mogelijk om grote vermaasde netwerken te maken zonder dat heel het netwerk uitvalt bij elke fout.

4.1.1 Bovengronds – luchtlijn

Een bovengrondse hoogspanningsverbinding of luchtlijn bestaat uit metalen geleiders (de kabels die in de lucht hangen) die per drie fasen gegroepeerd worden in een draadstel of circuit (zie figuur 6).'

De draadstellen worden ondersteund door pylonen of masten. Gezien lucht hier het isolatiemedium vormt, is er een zekere isolatieafstand nodig tussen de geleiders en de geaarde metalen structuren.

9 Andere spanningsniveaus zijn mogelijk

10 Deze afstanden zijn grootteordes waarop de studie van toepassing is.

Een bovengrondse hoogspanningsverbinding bestaat dus voornamelijk uit twee elementen: een mast en een geleider, waarvan heel veel verschillende types bestaan en gecombineerd kunnen worden. De Europese elektriciteitssnelwegen, die uitgebaat worden in wisselstroom en op het spanningsniveau van 380 kV, bestaan sinds de jaren 1960 en worden standaard bovengronds gerealiseerd met klassieke vakwerkmasten.

4.1.1.1 Geleiders

Voor het transport van elektriciteit wordt er een geleidend medium gebruikt, wat bestaat uit een aantal in elkaar gevlochten metalen draden, die tezamen een geleider vormen. Het gebruik van gevlochten draden laat toe dat de geleider enerzijds buigzaam blijft, maar anderzijds toch een hoge treksterkte behoudt.

Initieel werd voor geleiders koper gebruikt als basismateriaal gelet op de lage geleidingsweerstand (lage specifieke weerstand) en goede mechanische treksterkte. De hoge massa per lopende meter en hoge kostprijs hebben er echter toe geleid dat koper verlaten werd als basismateriaal voor geleiders.

Vanaf 1950 werden aluminium-staal ("Al-Ac") geleiders geplaatst in het Belgische hoogspanningsnet. Deze geleiders bestaan uit een kern van stalen draden omwikkeld met aluminiumdraden. Het gebruik van twee verschillende metalen laat toe om de goede eigenschappen van elk metaal te combineren. Aluminium bezit net als koper een lage geleidingsweerstand en heeft bovendien een lage lineïke massa (massa per lopende meter). Staal zorgt anderzijds voor een hoge treksterkte, wat de sterkte van de gehele geleider verhoogt.

Door het verschijnen van corrosie in de Al-Ac-geleiders door de chemische interactie van beide types metalen, is men vanaf 1970 overgestapt op AMS *(Aluminium Magnesium Silicaat)* geleiders. Deze legering bezit dezelfde lage geleidingsweerstand en lage lineïke massa als Al-Ac-geleiders, maar behoudt eveneens een uitstekende treksterkte. De AMS-geleiders zijn goed bestand tegen corrosie, wat een groot voordeel is t.o.v. van de Al-Ac-geleiders.

Sinds de jaren '90 gebruikt Elia **Z-geleiders**. Hierbij zijn de twee (bij 707 AMS-2Z) of drie (bij 928 AMS-3Z) buitenste lagen van de AMS-geleider opgebouwd met Z-vormige draden in plaats van ronde draden.[11] De geleider is hierdoor egaler en compacter (kleinere diameter voor dezelfde sectie), waardoor deze minder gevoelig is voor ijsbelasting, minder windbelasting op hoge windsnelheid vangt en minder geluid maakt dan een niet gesloten geleider met ronde draden.

↑ **Figuur 3**
Bovenaan een doorsnede van de Z-geleider
Onderaan een geleider met trapeziumvormige draden

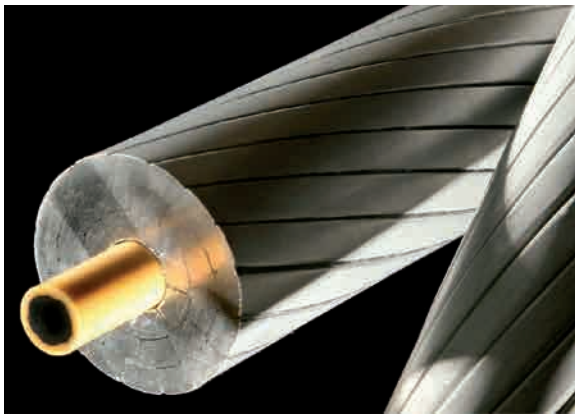
11
In het buitenland worden soms ook trapeziumvormige draden gebruikt.

De technologie staat echter niet stil en de afgelopen jaren werden nieuwe concepten van geleiders ontwikkeld die meer stroom kunnen vervoeren en dit in combinatie met minder doorhang. Deze technologie wordt de High Temperature Low Sag (HTLS)-geleiders genoemd.

Tijdens het transport van elektriciteit gaat er steeds een hoeveelheid elektrische energie verloren. Dit noemt men het netverlies en wordt gedefinieerd als het verschil aan vermogen dat op het net wordt ingebracht en wordt afgenomen. De netverliezen zorgen voor een opwarming van de geleiders, hetgeen de mechanische eigenschappen van de geleider beïnvloedt.

Door de netverliezen, zet de geleider uit, waardoor deze meer zullen doorhangen en de treksterkte vermindert. Daarom legt het Algemeen Reglement op Elektrische Installaties[12] (hierna AREI) een maximale uitbatingstemperatuur van 75°C op voor de uitbating van gewone geleiders. Verder bepaalt het AREI ook de te respecteren afstanden tussen de geleiders en de grond en obstakels.

↓ **Figuur 4**
HTLS-geleider



De HTLS-geleider, afgebeeld in figuur 4, is heterogeen opgebouwd en bestaat uit een dragende kern met zeer goede mechanische treksterkte (glas- en/of koolstofvezels die sterker zijn dan stalen draden), met daarrond een speciale aluminiumlegering met een lage geleidingsweerstand en goede warmteweerstand, die een uitbating tot hoge temperaturen (150-250°C°) toelaat. Dit leidt tot een lichtere geleider met een grotere transportcapaciteit ten opzichte van de klassieke AMS-geleider. Deze geleider is geschikt bij de upgrade van bestaande verbindingen om zo de transportcapaciteit van een bestaande corridor te verhogen met 30 tot 100% en dit met behoud van de masten. Een tweebundel 2x900 HTLS heeft bijvoorbeeld dezelfde transportcapaciteit (rond 4500A) als een vierbundel 4x707 AMS-2Z.

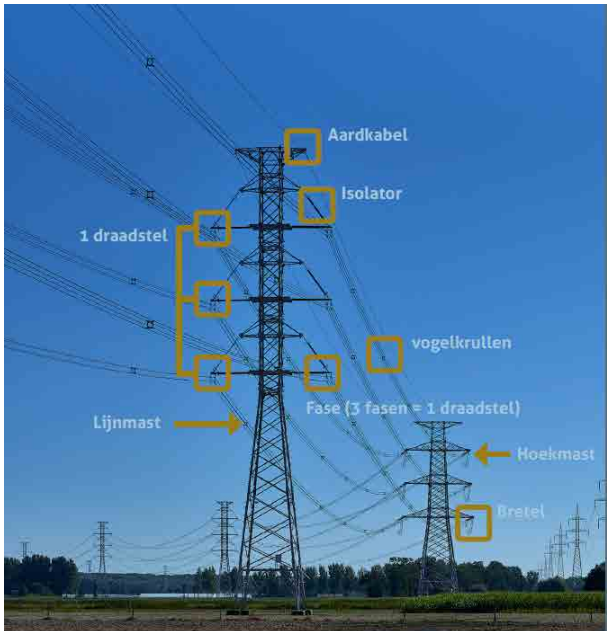
↑ **Figuur 5**
Tweebundel 2x900 HTLS (links) en vierbundel 4x707 AMS-2Z (rechts)

Indien nieuwe masten worden geplaatst gaat de voorkeur echter naar AMS-geleiders. De totale investeringskost (masten + geleiders) is ongeveer gelijk, maar AMS genereert minder netverliezen (ca. 40% lager dan bij HTLS-geleiders met eenzelfde transportcapaciteit). Ook kan met een vierbundel AMS-geleiders een compactere mast gebouwd worden bij eenzelfde geluidsniveau.

4.1.1.2 Masten

De masten zijn de steunen die de geleiders dragen. Op het bovenste deel van de mast zijn mastarmen voorzien waarop de geleiders vastgemaakt worden. Tussen de geleiders en de mast wordt er een isolerende drager voorzien die de delen onder spanning en de geleider afscheidt van de mast.

12
Algemeen Reglement op Elektrische Installaties zoals vastgelegd door het Koninklijk Bkoninklijk esluit van 10 maart 1981.



↑ **Figuur 6**
Klassieke mastarmen met tweebundel (links) en isolerende mastarmen met vierbundel (rechts)

Bij masten waar de geleiders van richting veranderen, bestaat deze isolerende drager uit een isolatorketting tussen de klassieke mastarmen en de geleider. Als de masten echter op één lijn staan, ook wel lijnmasten genoemd, kan de combinatie isolatorketting en klassieke mastarm ook vervangen worden door een compactere isolerende mastarm, die de geleiders rechtstreeks draagt.

De masten moeten altijd in overeenstemming zijn met de normen bepaald in het AREI en in de Europese Norm EN50341 voor het ontwerp van lijnen. Gelet op de strikte Belgische normen kunnen bepaalde technologieën niet zomaar “overgenomen” worden vanuit het buitenland. Een afzonderlijke studie zal meer details geven over de verschillende masten en hun toepassing in enkele projecten.

Afhankelijk van het aantal elektrische circuits, ook wel draadstellen genoemd, die op een mast aanwezig zijn, kan de vorm van de mast verschillen. Om een maximale transportcapaciteit op het net te kunnen garanderen, dient bij masten met een dubbel draadstel (met geleiders aan beide kanten van de armen) het draadstel dat aan de andere kant van de mast hangt in dienst te blijven tijdens onderhoudswerkzaamheden. Dit principe alsook de wettelijke verplichtingen hebben een impact op de lengte van de mastarmen en de breedte van het mastlichaam.

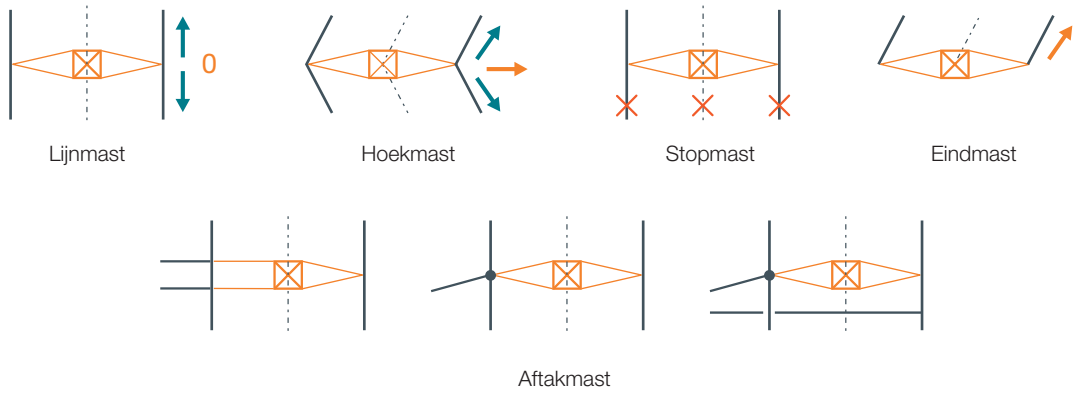
4.1.1.2.1 Functies van de masten

Zoals eerder vermeld, worden masten die op één lijn staan lijnmasten genoemd. Deze masten zijn berekend voor de krachten van geleiders die op één lijn liggen, inclusief de windbelasting op de geleiders en de mast.

Op plaatsen waar het tracé afwijkt van een rechte lijn, zijn hoekmasten vereist. Deze zijn zwaarder dan klassieke lijnmasten omdat deze een grotere zijwaartse trekkracht van de geleiders moeten verdragen.

Op specifieke plaatsen worden stopmasten geplaatst. Een stopmast is sterker dan een hoekmast en heeft als functie om alle geleiders aan één kant van de mast vast te houden als er zich een accidentele breuk voordoet van alle geleiders aan de andere zijde van de mast. Stopmasten worden vooral ingezet om kruisingen van spoorwegen of hoofdwegen te beveiligen of om een cascade-effect tegen te gaan wanneer bijvoorbeeld een lijnmast zou vallen. Gemiddeld wordt er om de 4 à 5 kilometer een stopmast voorzien.

Bij aankomst van de hoogspanningslijn in een onderstation worden eindmasten voorzien. Deze hebben voldoende weerstand om de permanente grote trekkrachten van alle geleiders in één richting op te vangen, in tegenstelling tot een stopmast, die de geleiders enkel in een accidenteel geval in één richting kan dragen. Een eindmast is 20% sterker dan een stopmast.



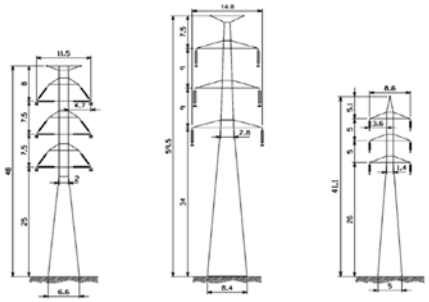
→ **Figuur 7**
Mastfuncties

Wanneer er een aftakking nodig is naar een hoogspanningspost naast een doorlopende lijn, kan er een aftakmast gebouwd worden. Deze mast, die specifiek voor de aftaksituatie ontworpen wordt, laat toe om een enkele of dubbele aftakking van één of meerdere circuits te maken, zonder dat er een onderstation op het knooppunt gebouwd moet worden.

Onderstaande figuur toont het onderscheid tussen verschillende mastfuncties.

13
www.stevin.be

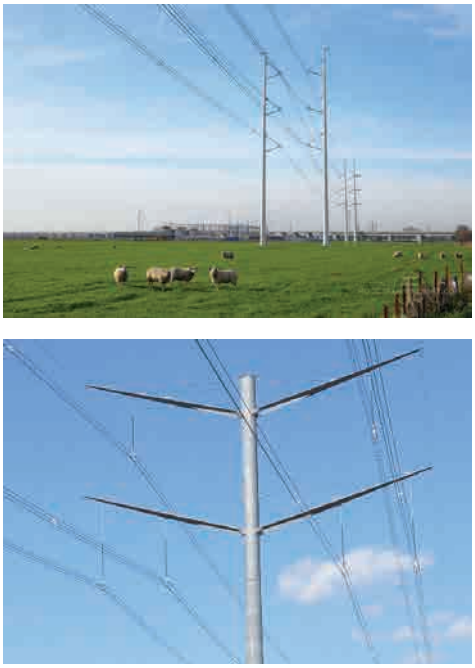
→ **Figuur 8**
www.stevin.be
Compact 380kV-silhouet t.o.v. klassiek 380kV-silhouet (links) en 150kV-lijn t.o.v. compacte 380kV-lijn (rechts)



4.1.1.2.2 Types van masten

Vakwerkmasten komen in België het meest voor en dit onder de vorm van de “klassieke mast”. Tijdens het Stevin-project[13] werd in België ook voor het eerst een compacte mast gerealiseerd. In vergelijking met de klassieke 380 kV-mast is deze aanzienlijk kleiner en heeft die ongeveer de omtrek van een klassieke 150 kV-mast. Figuur 8 illustreert dit compact masttype.

Een buismast, ook wel monopode mast genoemd, bestaat uit een cilindrisch mastlichaam, waaraan metalen of isolerende mastarmen bevestigd worden om de geleiders van de circuits te dragen. Buismasten zijn beschikbaar in beton, metaal



← **Figuur 9**
Wintrackmasten: dubbele buismast of bipodemast (NL) (links) en Eagle Tower: enkele buismast of monopodmast (DK) (rechts)

of een combinatie van beide. Er zijn reeds concepten in composietmateriaal maar de krachten en momenten die deze masten kunnen opnemen zijn beperkt en momenteel niet geschikt voor 380 kV.

4.1.1.2.3 Hoogte

De hoogte van de mast wordt bepaald door de doorhang van de geleiders in het midden van een span, de overbrugde afstand tussen twee masten. Het AREI schrijft de minimale afstand tussen het laagste punt van de onderste geleider en de ondergrond voor, afhankelijk van het type ondergrond (veld, huis, weg, ...). Om deze minimale hoogte te respecteren, kan men zo de hoogte van de aangrenzende masten in de span bepalen.

In vergelijking met de oude klassieke vakwerkmasten hebben er zich de laatste jaren diverse technologische ontwikkelingen voorgedaan die een positieve impact hebben gehad op de hoogte van de mast (-12m ongeveer). Zo heeft het gebruik van isolerende mastarmen als voordeel dat hangende isolatorkettingen op lijnmasten overbodig worden, zodat de gehele mast compacter en dus lager wordt.

4.1.1.3 Technologie toegepast op de case study

Voor de verdere evaluatie wordt een 380 kV-luchtlijn met 2 circuits met elk een vermogen van 3GW weerhouden. Hierbij wordt een 4-bundel geleider 707 AMS-2Z gebruikt vermits de analyse in het kader van het Stevin-project[14] aangetoond heeft dat deze voldoet aan de geluidsvoorschriften, minder verliezen heeft dan andere types geleiders (in het bijzonder de HTLS) en een lagere aankoopkost heeft voor de equivalente transportcapaciteit.

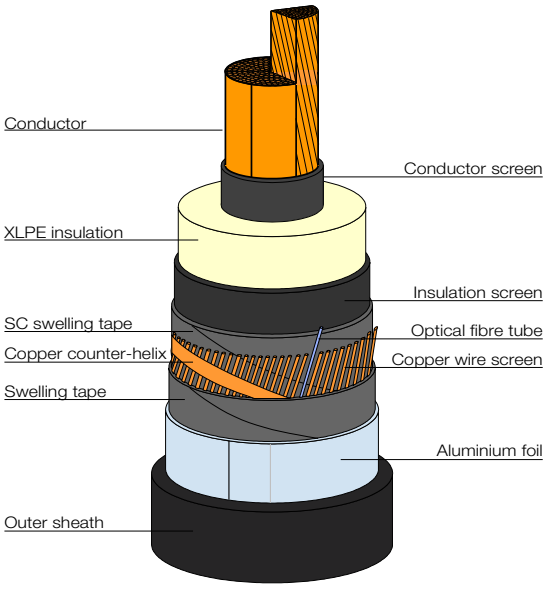
Verder is het gebruik van deze geleiders een courante praktijk met gekende en goede ervaringen. De meeste Europese hoogspanningsprojecten met nieuwe luchtlijnen maken gebruik van het type geleiders met aluminium legering met hoge geleidbaarheid.

Voor de masten wordt voor de verdere analyses het compacte masttype van het Stevin-project als basis genomen, omdat hiervoor al een optimalisatie naar de Belgische behoeften is gebeurd. In de praktijk zijn ook andere masttypes of andere geleiders mogelijk.

4.1.2 Ondergronds

4.1.2.1 Kabel

Het transport van elektriciteit kan ook met ondergrondse kabels gerealiseerd worden. Ondergrondse kabels voor grote vermogens zijn monofasig opgebouwd. Dit wil zeggen dat er één kabel per elektrische fase nodig is. Vermits wisselstroom driefasig is opgebouwd hebben we dus drie kabels nodig. Deze kabels bezitten net als bovengrondse geleiders een metalen geleidende kern. In tegenstelling tot luchtlijnen is niet de lucht, maar een kunststoflaag rond deze kern het isolerende medium tussen de delen onder spanning en de buitenwereld. Deze kabels hebben een gelaagde structuur.



↑ **Figuur 10**
Opbouw kabel (tekening Nexans)

14 http://www.elia.be/en/projects/grid-projects/~/media/files/Elia/Projects/stevin/02_eindrapport-MER_6233-130.pdf

De belangrijkste onderdelen zijn:

- De kern: opgebouwd uit aluminium of (geëmailleerd) koper en zorgt voor de effectieve geleiding van de elektrische stroom.
- De isolatie: zorgt voor de afscheiding van de onder spanning staande geleider en de buitenmantel van de kabel. Voor de huidige AC-kabels tot 380 kV bestaat deze uit XLPE (cross-linked polyethyleen).
- De mantel: zorgt voor de bescherming (mechanisch, water, corrosie,…) en bevat een metalen scherm dat belangrijk is om bij kortsluiting een deel van de foutstroom veilig af te voeren.

De kabels worden in sleuven onder de grond geplaatst. De diepte van de sleuf hangt af van het type grond, het spanningsniveau van de kabels en het gebruik van de bovenlaag (autoweg, veld, ...). De breedte van de sleuf hangt af van het spanningsniveau en de gevraagde transportcapaciteit. (Zie ook volgende paragraaf en Hoofdstuk Grondinname tijdens & na de werken).

De sleuf wordt nadien weer opgevuld met grond. Deze laat toe om vlot de warmte van de kabels af te voeren (bijvoorbeeld dolomiet). Dat maakt een hoge transportcapaciteit van de kabels mogelijk (zie volgende paragraaf).

4.1.2.1.1 Vermogen

Een ondergrondse kabel heeft een lagere transportcapaciteit (vermogen) dan een luchtlijn. De verliezen in een geleider en het metalen scherm genereren warmte en in een ondergrondse kabel kunnen deze zeer moeilijk afgevoerd worden. Hierdoor warmt deze snel op. Vanaf een zekere temperatuur (voor XLPE meestal 90°C) begint het isolatiemateriaal echter te degraderen. Hierdoor moet de stroom (en dus ook het vermogen) beperkt worden.

↑ **Figuur 11**
Kabelsleuf voor een 380kV-kabel (4 circuits) (rechts)

Om een ondergrondse kabel optimaal te benutten, kunnen verschillende maatregelen genomen worden. Hieronder wordt een overzicht gegeven van mogelijke acties:

- Men kan opteren voor een grotere diameter van de geleider of het gebruik van beter geleidende materialen (koper in plaats van aluminium). Op deze manier zal de soortelijke weerstand verminderen, waardoor de warmteverliezen verlagen[15] en er dus minder vermogen verloren gaat in de kabel. Momenteel zijn de maximale gangbare kabelsecties 2500 mm² uit koper vervaardigd.
- Het zogenaamde *"skin effect"* zorgt ervoor dat bij wisselspanning de stroom hoofdzakelijk aan de buitenkant van de geleider vloeit. Dit fenomeen wordt groter bij grotere diameters van de geleider. Om dit te vermijden, bestaan de geleiders met een kabelsectie van 2500mm² of meer meestal uit verschillende kleinere draadjes die van elkaar afgeschermd ("geëmailleerd") worden.
- De afstand tussen de verschillende fasen en circuits van kabels kan vergroot worden, waardoor de thermische invloed van de andere kabels lager wordt. Bovendien zullen naast elkaar liggende kabels door toedoen van hun elektromagnetische velden stromen induceren in de kabelschermen en de metalen beschermlaag van de mantel van naburige kabels. Met een grotere afstand tussen de circuits worden deze geïnduceerde stromen lager, wat lagere

15 Algemeen Reglement op Elektrische Installaties zoals vastgelegd door het Koninklijk Bkoninklijk esluit van 10 maart 1981.

verliezen tot gevolg heeft en wat eveneens de opwarming van de kabels beperkt.

- Voor een 380 kV-kabel bedraagt de maximale kabellengte die over land getransporteerd kan worden ongeveer 1 km. Per kilometer worden de kabelstukken aan elkaar gezet door verbindingsmoffen. Op die plaats kan het scherm met het scherm van een andere fase verbonden worden. Dit noemt men *cross*-bonding. Doordat de geïnduceerde stromen in de mantelschermen van verschillende fasen elkaar deels opheffen, kunnen de verliezen zo gereduceerd worden.
- Als men de kabels plaatst in een grondlaag met een betere thermische geleidbaarheid (gecontroleerde aarding), wordt de geproduceerde warmte van de kabel beter geëvacueerd.
- Men kan de diepte van de kabel beperken. Een dikkere laag aarde bovenop de kabel impliceert een grotere thermische isolatie, waardoor de kabel zijn warmte dus moeilijker af kan geven.
- Op bepaalde plaatsen zijn er geen sleufwerken mogelijk en moet er onder de hindernissen door geboord worden met een gestuurde boring. De kabel wordt dan door een buis door deze boring getrokken. Men kan na het plaatsen van de kabel de buizen verder opvullen met het opvulmateriaal bentoniet, waardoor de warmtegeleiding verbetert in vergelijking met een niet-gevulde buis.

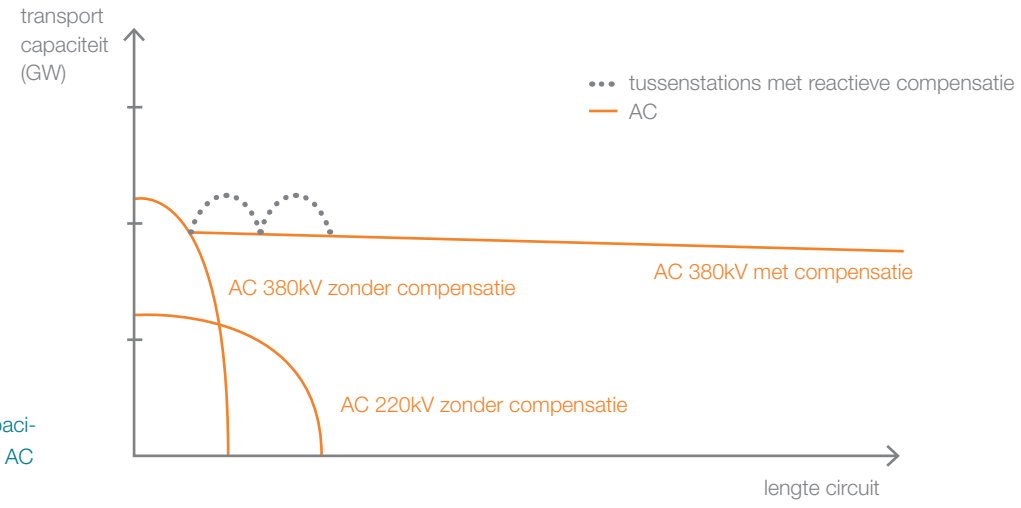
Zelf na het nemen van al deze maatregelen, blijft het vermogen van een ondergronds kabelcircuit beperkt tot ongeveer 1GW op 380 kV en 0,6GW op 220 kV.

4.1.2.1.2 Reactieve energie bij AC-kabels

Ondergrondse kabels zijn zeer capacitief[16], wat inhoudt dat zij een deel van het getransporteerde schijnbare vermogen opnemen. Bij langere kabellengtes zal een aanzienlijk deel van de stroom aan de ingang van de kabel gebruikt worden om deze “capaciteit” te voeden. Het vermogen dat hieraan “verloren” gaat, noemt men reactief vermogen, in tegenstelling tot het actieve of nuttige vermogen dat door de kabel getransporteerd wordt naar het andere uiteinde.

De maximale lengte van een kabel waarbij het uiteindelijke getransporteerde actieve vermogen op 0 valt door deze capaciteit, is in functie van de uitbatingsspanning. Gegeven dat het geproduceerde reactief

16 De elektrische capaciteit C bedraagt 240 tot 280mF/km per fase voor hoogspanningskabels 380kV en 220kV. Dit is ongeveer 20 maal zo hoog als bij luchtlijnen.



→ **Figuur 12** Transportcapaciteit bij DC en AC

↑ **Figuur 13**
Shuntreactor

vermogen in functie van het kwadraat van de uitbatingsspanning stijgt[17], zal de beschikbare transportcapaciteit voor het actieve vermogen sneller slinken bij hogere spanningen dan bij lagere spanningen. Een lagere spanning laat dus toe om langere kabellengtes te kunnen gebruiken. Anderzijds zal bij korte kabellengtes een hogere spanning een grotere transportcapaciteit toelaten bij eenzelfde kabelsectie. Om deze vaststelling te illustreren wordt in de grafiek hieronder de transportcapaciteit van een kabel met dezelfde kabelsectie en stroomsterkte vergeleken voor 220 kV en 380 kV.

Om het reactief vermogen van een ondergrondse kabel te compenseren kunnen shuntreactoren worden geïnstalleerd. Dit zijn spoelen die tussen de fase en de aarde worden geplaatst in een onderstation. Onderstaande figuur toont een shuntreactor.

Om het transportvermogen ook voor langere kabels hoog te houden, kan men tussenstations of compensatiestations plaatsen op het traject van de kabel. In deze tussenstations worden dan een aantal shuntreactoren geplaatst die het reactief vermogen van de kabels absorberen. De lijn "AC 380 kV met compensatie" in figuur 12 illustreert de werking van deze tussenstations.

Een shuntreactor lijkt qua opbouw een transformator maar is constructief moeilijker te produceren. Bij een transformator zorgt de magnetische kern grotendeels voor de mechanische sterkte. Bij een shuntreactor zit deze magnetische kern echter vol luchtspleten waardoor de mechanische sterkte beperkt is en waardoor het ook moeilijk wordt om de productie van het geluid te beperken. Uit overleg met de constructeurs blijkt dat shuntreactoren groter dan 130Mvar nog zeer moeilijk te vervaardigen zijn, zeker indien er beperkingen worden opgelegd qua geluidsniveau.

Bovendien zorgen grotere shuntreactoren voor grote spanningssprongen op het net bij het in- en uitschakelen van deze installaties. 130Mvar is de maximale grootte die zonder problemen overal in het net kan geplaatst worden. Indien er meer compensatie nodig is, zullen meerdere shuntreactoren naast elkaar geplaatst moeten worden.

Om de reactieve energie perfect te compenseren, dient per 11 lopende km kabelcircuit op spanningsniveau 380 kV[18] en per 30 km kabelcircuit op spanningsniveau 220 kV een shuntreactor van 130Mvar geplaatst te worden. Deze shuntreactoren dienen verdeeld te worden over de eind- en tussenstations. (Bij een perfecte compensatie staan er in elk tussenstation dubbel zoveel shuntreactoren als in elk eindstation.)

Idealiter hebben de shuntreactoren elk hun eigen aansluitveld met een eigen beveiligingssysteem en vermogensschakelaar. Om aansluitvelden te besparen zou men een deel van de reactieve compensatie samen met de kabel op één aansluitveld kunnen plaatsen. Volgende punten moeten dan eerst onderzocht worden:

- Het "zero missing" fenomeen (waarbij door een quasi-perfecte match van geproduceerd reactief vermogen (kabel) en geabsorbeerd vermogen (shunt), bij overgangsverschijnselen de 50Hz-component geblokkeerd wordt en het daardoor mogelijk is om gedurende een langere periode (>200ms) geen natuurlijke nuldoorgang van de stroom te krijgen): hierdoor zal de vermogensschakelaar bij een fout niet tijdig uitschakelen. Ook kan er door de opgebouwde hitte in de

17
$Q_{Capacitief} = \omega C.U^2$, waarbij ω gelijk is aan 2π keer de netfrequentie (50Hz).

18
Vermits we in de use-case op 380kV zes parallelle circuits nodig hebben, zijn er dus na een tracé van 11 km zes shunt reactoren nodig. De shunt reactoren moeten niet exact om de 11 km geplaatst worden, maar kunnen gegroepeerd worden in de tussen en eindstations.

bluskamer schade ontstaan met mogelijk een explosie van de vermogensschakelaar tot gevolg. Het is daarom niet mogelijk om alle reactieve compensatie in parallel met de kabel op één aansluitveld te plaatsen. (In de literatuur vinden we limieten tot 80%.)

- De werking van de beveiligingen: sommige beveiligingen kunnen niet meer selectief een fout detecteren.

Eigen aansluitvelden hebben bovendien volgende voordelen:

- Er kunnen specifieke inschakelprocedures opgesteld worden om het hele systeem stapsgewijs in te schakelen en om er zo voor te zorgen dat de spanningsstappen op het net minimaal blijven.
- De shuntreactoren kunnen apart bediend worden naargelang de behoefte van reactief vermogen.

4.1.2.1.13 Spanningsopbouw en spanningssprongen

Doordat een kabel zeer capacitief is, ontstaan ook volgende fenomenen:

- Bij het schakelen van de kabel ontstaan er spanningssprongen in het net. Bij lange kabels kunnen deze storend zijn voor de netgebruikers[19] of zelfs installaties beschadigen en/of doen afschakelen.
- Indien de kabel slechts aan één zijde ingeschakeld is, stijgt de spanning over de lengte van de kabel. Bij lange lengtes kan de spanning op het open uiteinde te hoog worden voor de installatie.

Deze fenomenen kunnen onder controle gehouden worden door de lengte van elk kabeldeel te beperken. De maximale afstand zal ook afhangen van het omliggende net en moet geval per geval bepaald worden in een afzonderlijke studie.

Opmerking: indien twee of drie kabelcircuits gebundeld worden achter één enkele (vermogens)schakelaar, worden deze afstanden zelfs twee- of driemaal korter. We gaan er verder vanuit dat elk circuit afzonderlijk geschakeld wordt.

4.1.2.1.4 Resonantie

Door de combinatie van de (zeer capacitieve[20]) kabels en (inductieve) shuntreactoren ontstaan resonanties[21], ook wel harmonische frequenties en eigenfrequenties genaamd. Deze werken zoals een radio, waarbij specifieke frequenties versterkt worden. In tegenstelling tot een radio zijn deze versterkingen niet wenselijk in het hoogspanningsnet. Bovendien zijn er veel combinaties mogelijk van kabels en shuntreactoren, die elk een frequentie triggeren die ze versterken. Ook het net zelf is een inductieve bron en deze verandert voortdurend. We kunnen deze situatie dus vergelijken met een radio met gelijktijdig meerdere stoorzenders en waarbij deze stoorzender continu van frequentie verandert.

De meeste van deze resonanties zijn transiënte fenomenen die ontstaan bij het in- of uitschakelen van een element, bij storingen in het net of bij blikseminslagen in de naburige installaties. Ze kunnen problemen geven in de eigen installaties of in de installaties van netgebruikers. Om dit te verhelpen kunnen filters geplaatst worden aan de uiteinden van de installaties. Er bestaan hiervoor twee soorten filters:

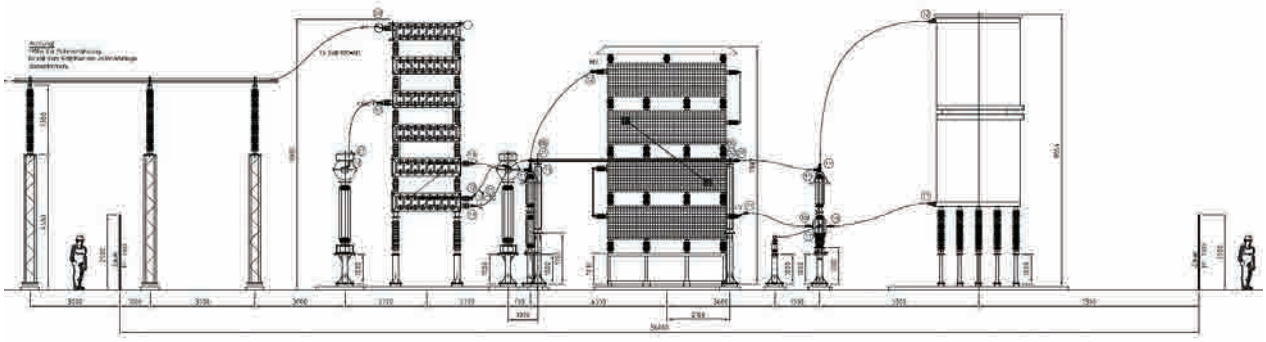
- Passieve filters: deze absorberen één enkele frequentie. Indien er meerdere harmonische frequenties zijn, moeten dus meerdere filters geplaatst worden.
- Actieve filters: deze werken op basis van halfgeleidertechnologie, zoals gebruikt in de VSC-conversiestations. Deze kunnen zeer flexibel een breed spectrum aan frequenties filteren, maar zijn anderzijds ook veel duurder.

Vermits resonanties afhangen van het omliggende net, moet geval per geval (in een afzonderlijke studie) geanalyseerd worden welke filters nodig zijn.

19
Hiermee worden zowel klanten als productie-eenheden bedoeld.

20
Op basis van de kabels 380kV die gebruikt worden bij Elia, is dit ongeveer 240nF/km.

21
Er ontstaan zogenaamde (R) LC-kringen.



↑ **Figuur 14**
Doorsnede passieve filter (bron: 50HertzT)

4.1.2.1.5 Technologie toegepast op case study

Om het gevraagde vermogen te bereiken (los van de technische haalbaarheid – dit komt verder aan bod), is voor deze case study een 380 kV-verbinding met 6 parallelle circuits (6x3 geleiders) nodig om een verbinding van 6GW te realiseren. Zoals eerder gesteld zal hier wel gecompenseerd moeten worden voor het reactief vermogen en dient er per 11 km kabel een shuntreactor 130Mvar te worden voorzien. Dit leidt voor een kabelverbinding van 75 km uitgebaat op 380 kV tot het plaatsen van 42 shuntreactoren. Gezien de lente van de verbinding zullen één of meerdere tussenstations nodig zijn waar deze shuntreactoren gegroepeerd worden. In de verdere vergelijking gaan we ervan uit dat één tussenstation voldoende is. Dit is het meest optimistische geval.

Voor de case study bestuderen we ook de kabeltechnologie indien deze uitgebaat wordt op een spanningsniveau van 220 kV. In dit geval is het reactief vermogen dat gegenereerd wordt per kabelcircuit 3 keer zo laag. Aan beide uiteinden is er echter een transformatie nodig naar een hoger spanningsniveau. Daarbij ligt het maximaal vermogen van een 220 kV-kabel 40% lager dan dat van een 380 kV-kabel. Dit impliceert dat er 10 parallelle circuits nodig zijn om het opgegeven vermogen te realiseren. In dit geval is er maar één shuntreactor per 30 km kabelcircuit te voorzien, wat een totaal van 25 shuntreactoren geeft. We vertrekken ook hier van het meest optimistische geval en gaan er verder van uit dat geen tussenstation nodig is.

In hoofdstuk Kabel zullen we ook de noodzaak bekijken van filters en andere (actieve) elementen die aan het net moeten toegevoegd worden om de netfenomenen bij kabels te beheersen.

4.1.2.2 GIL

Een GIB of Gas Insulated Busduct wordt gebruikt voor het transport van elektriciteit over beperkte afstanden, bijvoorbeeld tussen een GIS-installatie (gas-insulated switchgear of gasgeïsoleerde schakelapparatuur)[22] en een luchtlijn. Deze GIB bestaat uit korte, aan elkaar geschroefde buizen, waarin een geleidende kern afgescheiden wordt van de buis door middel van een niet-geleidend inert gas, SF_6 of zwavelhexafluoride.[23] Deze buizen zijn echter niet geschikt om in te graven en door de aanwezigheid van overdrukventielen is het ook niet veilig om deze in tunnels te plaatsen.

Het is alleen maar mogelijk om deze GIB te plaatsen op bovengrondse structuren of in een verzonken sleuf in de grond (bijvoorbeeld een open kanaal afgedicht met roosters). In beide gevallen zal de volledige corridor verboden terrein zijn voor onbevoegden en over grote obstakels dient men te werken met bruggen. Dit wordt niet als realistisch beschouwd voor lange verbindingen over publiek terrein en wordt bijgevolg niet verder in beschouwing genomen.

De GIL-technologie of Gas *Insulated* Line is een technologie die gebaseerd is op de GIB-technologie. Ze bestaat uit lange aaneengelaste buizen (vergelijkbaar met gasleidingen), met telkens één elektrische geleider in het midden van deze buis. Voor een driefasig systeem zijn dus drie buizen per verbinding nodig. De buizen zijn gevuld met een gasvormig isolatiemedium bestaande uit een mix van 80% CO_2 en 20% SF_6.

22
AIS: Air Insulated System. De installaties worden-installatie wordt op isolatoren geplaatstgeplaats. De omgevingslucht wordt verder gebruikt als isolatiemedium tussen de onder spanning staande delen. GIS: Gas Insulated System. De installatie worden in buizen geplaatst met een isolerend gas, tot nu toe meestal SF_6. Door de betere isolatie-eigenschappen van SF_6 zijn veel kleinere isolatieafstanden nodig, waardoor de installaties compacter worden.

23
Recent zijn er ook een aantal leveranciers die alternatieve gassen aanbieden, maar slechts één biedt dit aan op 380kV, namelijk General Electric met het samengesteld gas “g³”.

Een GIL wordt best in rechte stroken geplaatst: de buigstraal is minimum 400m, tegenover enkele meters voor ondergrondse kabels. Korte, scherpe hoeken zijn echter mogelijk, maar zijn moeilijker te verwezenlijken.

De GIL kan op drie verschillende wijzen geplaatst worden:

- Ingegraven als een kabel of een gasleiding.
- Geplaatst in een tunnel waarbij er een betere afkoeling is dan bij ingraving en er dus een hogere transportcapaciteit kan worden gehaald. Ook de toegang tot de GIL is eenvoudiger.
- Bovengronds op structuren waardoor de toegang voor onderhoud zeer eenvoudig is en de kostprijs ook lager is dan bij een tunnel of het ingraven.

4.1.2.2.1 Toepassing op case study

Voor deze studie worden 2 GIL-circuits met een nominale spanning van 380 kV in één tunnel gehanteerd als standaardcase voor deze technologie. Om het vereiste vermogen van 2x3GW te bereiken, zal er koeling in de tunnel moeten worden geplaatst, zodat de temperatuur in de GIL niet te hoog oploopt.

De capacitieve impedantie is per buis vier tot vijf keer lager dan één ondergrondse kabel14 en er zijn slechts 6 buizen nodig in plaats van[24] kabels. Hierdoor kan het aantal shuntreactoren beperkt worden tot drie.

↑ **Figuur 15**
Doorsnede van een GIL-tunnel

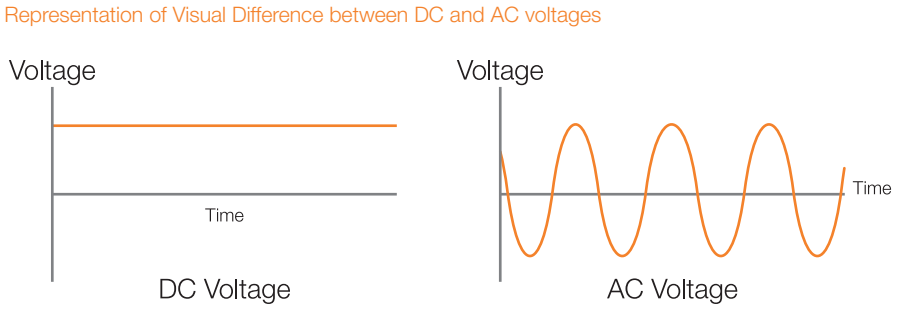
4.1.2.3 Supergeleider

Supergeleiders hebben quasi geen weerstand, zodat zij de overdracht van grote vermogens via ondergrondse kabels mogelijk maken met hoge stromen (meer dan 2 tot 20kA) op verschillende spanningsniveaus (van 10 kV tot meer dan 200 kV).

Verschillende materialen worden momenteel onderzocht als geleider. Deze zijn meestal niet de gekende metalen, maar keramische materialen.

Opdat de geleidende kern supergeleidend wordt (het moment waarop de specifieke weerstand quasi volledig wegvalt), moet deze gekoeld worden tot zeer lage temperaturen door een cryogene vloeistof (bijvoorbeeld vloeibaar stikstof of vloeibaar

24
De elektrische capaciteit C van een GIL is beperkt tot 55nF/km per fase. (De typische waarden voor de AC-luchtlijnen uit onze case liggen nog eens vier keer lager.)



→ **Figuur 17**
Golfpatroon van gelijkspanning (links) en wisselspanning (rechts)

helium). Eventueel kan deze cryogene vloeistof ook gebruikt worden als isolatie.

Voor de druk- en temperatuurregeling van het systeem is het noodzakelijk om een koelinstallatie te hebben met pompen die de cryogene vloeistof door de kabel stuwt en met warmtewisselaars om de overtollige warmte af te voeren.

↑ **Figuur 16**
Overzichtsschema van het ontwerp van de supergeleider (bron: Nexans)

4.1.2.4 Toepassing technologie op case study

De enige verbindingen die gerealiseerd zijn met supergeleiders hebben spanningsniveaus van 10 kV tot 110 kV. Eén testlus (lengte 30m) is geïnstalleerd op 275 kV[25]. Na rondvraag zijn er kabelfabrikanten die beweren dat het design beschikbaar is tot 420 kV (nominale spanning 380 kV), maar hiervan zijn nog geen concrete prototypes beschikbaar.

Gebaseerd op wat er nu al bestaat, lijken stromen van 4000A tot 5000A haalbaar in één kabel. Indien de maximale spanning door verdere ontwikkelingen verder opgetrokken kan worden tot 380 kV, zal een transportcapaciteit van 3GW mogelijk zijn via één circuit.

4.2 DC-TECHNOLOGIE

Bij DC of gelijkspanning zal in tegenstelling tot AC de elektrische spanning niet periodiek wisselen tussen positieve en negatieve waarden, maar zal deze een continue waarde behouden. In tegenstelling tot het sinusoïdale golfpatroon bij wisselspanning, zal de spannings-tijdgrafiek voor gelijkspanning eruit zien als een rechte lijn, zie figuur 17. Voor het transport van elektriciteit via een DC geleider zijn er 2 geleiders nodig (positieve pool en negatieve pool).

De DC-technologie heeft in de 20ste eeuw zijn intrede gedaan in de hoogspanningsnetten omdat zij volgende voordelen heeft ten opzichte van de AC-technologie:

- De technologie is geschikt voor onderzeese verbindingen (geen bovengrondse installaties nodig);
- Voor zeer lange afstanden is de investeringskost ook lager dan bij een klassieke AC-luchtlijn.
- Asynchrone netten kunnen met elkaar verbonden worden.

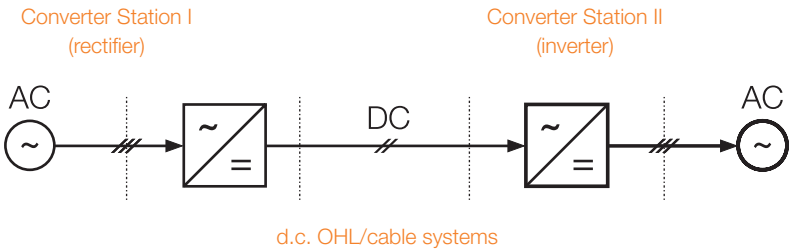
Op land wordt deze technologie voornamelijk gebruikt in landen met grote onderlinge afstanden, zoals Brazilië, Rusland, India, China en Noord-Amerika.

Een HVDC *(High-Voltage Direct Current)*-verbinding bestaat doorgaans uit drie hoofdsystemen (zie):

- Conversiestation[26] 1: dat een AC-net met een DC-transmissiesysteem verbindt en dat de wisselstroom *(AC- Alternate current)* omzet in gelijkstroom *(DC- direct current)*.
- Conversiestation 2: dat het DC-transmissiesysteem met een AC-net verbindt (in voorkomend geval asynchroon met

25 Door Furukawa Electric

26 Ook convertor of omvormer genaamd.



↑ **Figuur 18**
Concept van een HVDC-verbinding

het eerste station) en dat gelijkstroom in wisselstroom omzet.

- DC-vermogenstransmissiesysteem bestaande uit (ondergrondse en/of onderzeese) kabels en/of lijnen en dat beide conversiestations met elkaar verbindt.

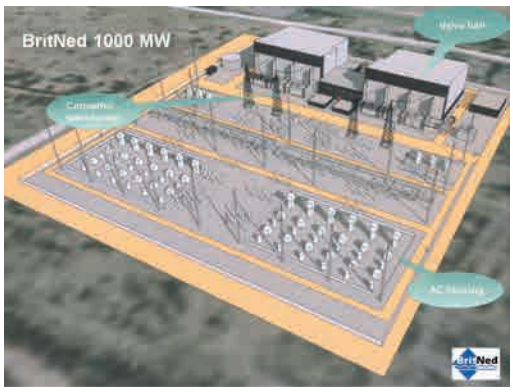
Een conversiestation fysisch verbinden met het AC-net komt neer op het installeren van een AC-verbinding tussen de AC-uitgang van het conversiestation en een hoogspanningspost. De te overbruggen afstand kan meerdere kilometers bedragen, afhankelijk van de inplanting van het conversiestation ten opzichte van de hoogspanningspost.

4.2.1 Conversiestations

Het omvormen van één spanning naar een andere is bij DC veel complexer dan bij AC. Deze omvorming (of transformatie) tussen twee AC-spanningen kan eenvoudig met een transformator.

Bij omvorming van AC naar DC en vice versa of tussen twee verschillende DC-spanningen is een volledig conversiestation nodig, waarbij een transformator maar één onderdeel is. We onderscheiden volgende onderdelen:

- Valve Hall: hier zijn de halfgeleiders (thyristoren of IGBT's – zie verder) ondergebracht. Deze halfgeleiders zijn het hart van het conversiestation en zorgen voor de effectieve omzetting **van AC naar DC en omgekeerd;**
- Transformator: deze regelt de spanning, maar heeft ook andere functies (bv. hoogfrequente **filter**);
- AC- en DC-schakelvelden
- Sturing en beveiliging;
- **Enkel bij LCC: AC-filters met het nodige schakelmateriaal.**



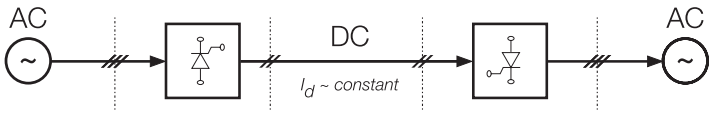
↑ **Figuur 19**
Voorbeeld van een LCC-conversiestation

↑ **Figuur 20**
Voorbeeld van een VSC-conversiestation

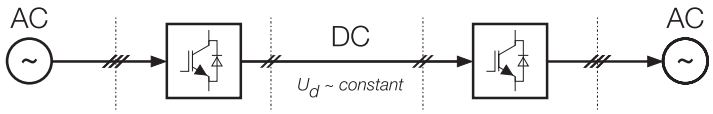
Er bestaan twee types van conversiestations nl. LCC *(Line commutated Converters)* en VSC *(Voltage Source converters)*.

LCC-conversiestations of 'Line Commutated Converters' werken op basis van zogenaamde thyristoren[27] Hier vloeit de DC-stroom steeds in één richting door de HVDC-verbindingen. Indien we het vermogen de andere richting willen laten uitgaan,

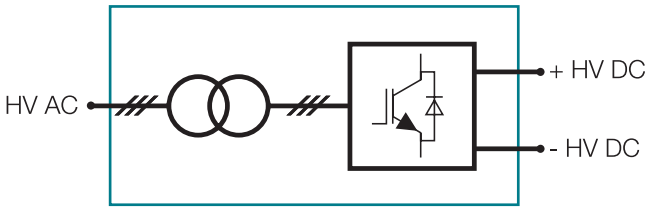
27
Type halfgeleider



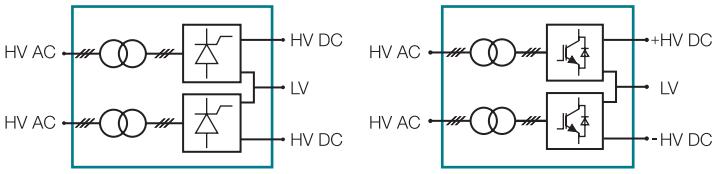
↑ **Figuur 21**
Overzichtsschema van een LCC-HVDC-verbinding



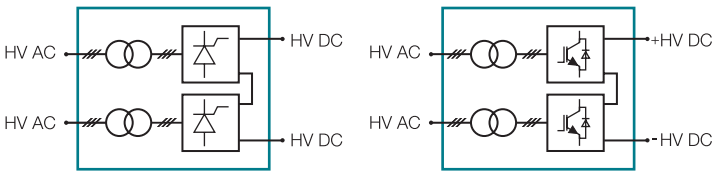
↑ **Figuur 22**
Overzichtsschema van een VSC-HVDC-verbinding



↑ **Figuur 23**
Overzichtsschema van een VSCSMP



↑ **Figuur 24**
Overzichtsschema van een LCC-BIP en een VSC-MMC-BIP



↑ **Figuur 25**
Overzichtsschema van een LCC-RBP en VSC- RBP

hetgeen in vermaasde netten frequent voorkomt, is dit enkel mogelijk door de spanning om te polen[28].

De AC-output van een LCC is ook geen mooie 50Hz sinusgolf. Er zit zeer veel "vervuiling" (rimpels) op de sinus. Om deze weg te werken is een hoogspanningsfilter nodig, die ongeveer 50% van de nodige oppervlakte beslaat. (Zie Figuur 19: Voorbeeld van een LCC-conversiestation)

VSC-conversiestations of 'Voltage Source Converters' werken op basis van IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistors of transistoren met parallel geschakelde vrijloopdioden). De HVDC-verbindingen hebben in dit geval een bijna constante DC-spanning. Een ompoling is dus niet nodig om het vermogen van richting te veranderen.

Door het inschakelen en uitschakelen van verschillende IGBT's in serie kan de gewenste spanningsgolf opgebouwd worden. Een hoogspanningsfilter is daarom niet of zeer beperkt nodig. Meer zelfs, deze installatie kan zelf gebruikt worden als filter.

4.2.1.1 Topologieën

Zowel voor LCC- als VSC-conversiestations kan men ook verschillende topologieën of configuraties gebruiken. De belangrijkste topologieën voor onze toepassing zijn:

- **Symmetrische monopool ('symmetrical monopole' of SMP):** deze topologie komt alleen voor bij VSC-conversiestations. Dit is de meest eenvoudige topologie en is hierdoor over het algemeen iets kleiner en goedkoper.
- **Bipool (BIP)** die bestaat uit twee in serie geschakelde conversiestations waarbij één geplaatst wordt tussen de positieve pool en een nulgeleider (metallic run) en de andere tussen de negatieve pool en de nulgeleider. Beide conversiestations kunnen in dit geval volledig onafhankelijk van elkaar werken. Deze specifieke topologie kan zowel voor LCC- als voor VSC-conversiestations gebruikt worden.

- **'Rigid Bipole' (RBP):** dit is een bipool zonder nulgeleider. Deze topologie wordt gebruikt wanneer het vermogen te groot is voor één enkele transformator, maar nog laag genoeg dat het wegvallen van het volledige systeem toegelaten is voor het net. Ook RBP's worden zowel voor LCC- als voor VSC-conversiestations gebruikt.

Er bestaan dus vijf topologieën van een HVDC-conversiestation, met name:

- LCC-BIP
- LCC-RBP
- VSC-SMP
- VSC-BIP
- VSC-RBP

4.2.1.2 Vermogen

Het maximaal overdraagbaar vermogen door een conversiestation wordt beperkt door de volgende factoren:

- de nominale DC-spanning van het HVDC-systeem,
- de maximale stroom die in de halfgeleiders kan vloeien, en
- de maximale stroom die in andere AC- en DC-apparatuur kan vloeien.

→ DC-Spanning

Op dit moment bestaat er geen Europees DC-net. De spanning kan daarom nog vrij gekozen worden, rekening houdend met de door Cigré aanbevolen standaardniveaus[29]. De spanningen die in ons geval van toepassing zijn, zijn:

- ± 320 kVdc
- ± 400 kVdc
- ± 500 kVdc
- ± 600 kVdc[30]

→ Stroom halfgeleiders

Hier moeten we een onderscheid maken tussen LCC- en VSC-conversiestations. Bij VSC is de maximale stroom van een conversiestation op dit moment gelimiteerd tot 3000A en maar een beperkt aantal leveranciers kunnen dit al halen. Bij LCC geldt deze beperking niet.

→ Stroom AC- en DC-apparatuur

De maximaal overdraagbare stroom door de meeste AC- of DC-apparatuur op de markt (bv. meetapparatuur en schakelmateriaal) is beperkt tot 5000A.

4.2.1.3 Impact van een luchtlijn

Indien het DC-transmissiesysteem segmenten uitgevoerd in luchtlijn bevat, moet men rekening houden met de gevolgen van blikseminslagen op de geleiders. VSC-conversiestations zullen namelijk afschakelen bij elke blikseminslag indien er geen extra maatregelen worden genomen.

Hiervoor zijn twee oplossingen: speciale schakelsequenties of het 'Full bridge' maken van het conversiestation. Dit laatste houdt een ontdubbeling van het aantal halfgeleiders in, hetgeen een belangrijke prijsimpact heeft. We verwachten echter dat in de toekomst de voorkeur zal gegeven worden aan het gebruik van speciale schakelsequenties. Hiervoor is extra schakelapparatuur nodig, in combinatie met voorgeprogrammeerde schakelsequenties.

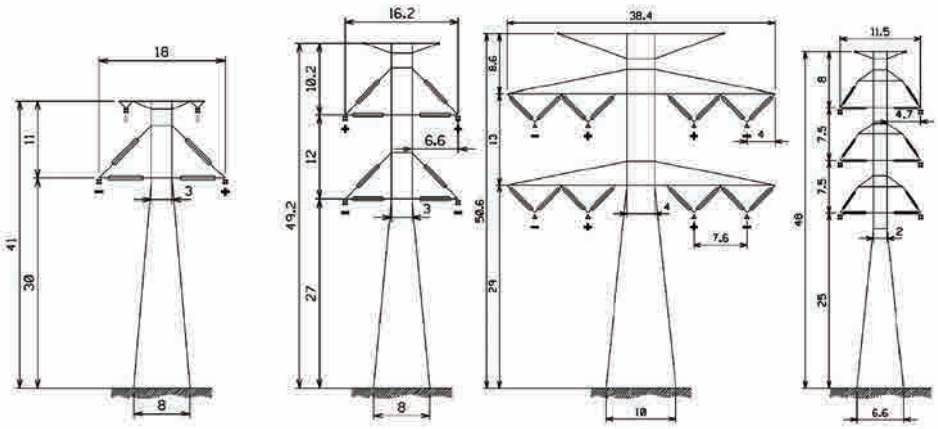
4.2.1.4 Technologie toegepast op case study

Op basis van deze gegevens en rekening houdend met een totaal vermogen van 6GW en 3GW bij onderhoud of defect, zijn volgende topologieën geschikt voor onze toepassing:

28 De "+" pool wordt de "-" pool en omgekeerd.

29 Technical BrochuresBrocures 684 "Recommended voltages for HVDC grids" , Cigré, 2017

30 Um = ± 640kVdc.



→ **Figuur 26** DC-mastsilhouetten (vlnr: 1 x ±600kV met metalic return, 2 x ±500kV, 4 x ±320kV en de 380kV AC compacte mast)

- voor de LCC-HVDC-technologie
  - 2 onafhankelijke conversiestations van 3000 MW op minstens ±320 kVdc aan beide uiteinden van de verbinding. Dit kan zowel in bipole met metallic return als met een rigid bipole.
  - 1 bipole met metallic return van 6000 MW op ±600 kV_{dc} aan elke zijde van de verbinding.
- bij de VSC-HVDC-technologie is het niet mogelijk om het volledige vermogen via één enkel installatie om te vormen.
  - Indien de leverancier 3000A kan aanbieden op minstens ±500kVdc, is een oplossing mogelijk met 2 conversiestations van 3GW aan beide uiteinden van de verbinding. Hier valt op te merken dat, voor zover ons bekend, vandaag slechts een beperkt aantal fabrikanten van deze conversiestations dergelijke systemen kunnen leveren (zie ook §5.1.3. maturiteit).
  - Indien 3000A niet mogelijk is of indien lagere spanningsniveaus nodig zijn, zijn 3 of meer conversiestations noodzakelijk aan beide uiteinden van de verbinding

Mits het vermogen per conversiestation beperkt is, zijn hier alle topologieën mogelijk.

4.2.2 Bovengronds – luchtlijn

4.2.2.1 Algemeen

Rond 2000 deden DC-luchtlijnen hun intrede in Europa. Deze bleken nodig om energiestromen, in het bijzonder van hernieuwbare bronnen zoals in Scandinavië, over zeer lange afstanden te transporteren naar de consumptiecentra. Deze verbindingen zijn vaak van gemengde aard, nl. ondergrondse of onderzeese kabels gecombineerd met bovengrondse luchtlijnen op land.

Voor de luchtlijn is er ook nauwelijks een verschil als LCC-HVDC- of van VSC-HVDC-technologie wordt gebruikt.

4.2.2.2 Mastsilhouet

Vandaag bestaat er nog geen reglementering met betrekking tot HVDC-lijnen in het AREI. Overleg met de bevoegde instanties zal dan ook noodzakelijk zijn om de buitengrenzen van nabijheidszones[31] en minimumafstanden[32] vast te leggen. We hebben ons daarom vooral gebaseerd op de publicatie TB388 van Cigré, alsook op ervaringen bij andere Europese netbeheerders en extrapolatie van afstanden vermeld in het AREI voor AC- installaties. Als vuistregel kunnen we voor eenzelfde spanningswaarde het volgende stellen:

- Minimale afstanden tussen één fase en geaarde delen moeten in DC 20% groter zijn dan bij AC[33]. Omdat DC vuil aantrekt op de isolatoren, worden de isolatoren zelfs 50% groter genomen.

31
xxx

32
De geleiders van luchtlijnen moeten zich op een bepaalde afstand bevinden van het grondvlak van openbare wegen, van overspannen binnenplaatsen, tuinen en terreinen en van de gebouwen. Deze afstand wordt «minimumafstand» genoemd zoals bepaald voor AC- lijnen in Onderafdeling 7.1.3.5 van Boek 3 van het AREI

33
Voor de maximale waarde van de spanning tussen fase en aarde geldt: Udc = √3/√2 Uac,RMS

34
Hier moet een extra factor 2/√3 toegevoegd worden.

Variante	Stroom (In)	Bundel geleider
LCC ±320kV rigid bipole 3000 MW	4 700 A	4x707 AMS-2Z
LCC ±600kV bipole met nulgeleider 6000 MW	5 000 A	4x928 AMS-3Z
VSC ±320kV symmetric monopole 1500 MW	2 350 A	2x707 AMS-2Z
VSC ±500kV rigid bipole 3000 MW	3 000 A	4x707 AMS-2Z[36]

↑ **Tabel 2** Verschillende types geleiders van de DC-lijn

- De minimale afstand tussen twee verschillende fasen (of polen) is 40% groter dan bij AC[34].

Toegepast op de vier varianten van convertoren die vorig hoofdstuk zijn weerhouden, geeft dit de mastsilhouetten weergegeven in volgende figuur.

Hierbij gelden volgende opmerkingen:

- Bij de LCC ±600 kV bipool hebben we ervoor gekozen om de nulgeleider te ontdubbelen en aan beide zijden van de mast te plaatsen. Hierdoor kan bij onderhoud steeds één volledige zijde van de mast spanningsloos worden geplaatst. Bijkomend voordeel is dat de nulgeleider zo ook kan gebruikt worden als waakdraad (bescherming tegen blikseminslagen) zodat er geen meerkost is. Een zeer brede mast met de "+", "-" en "0"-geleider naast elkaar zou ook mogelijk zijn.
- Bij de variant VSC ±320 kV SMP kan men ofwel kiezen voor één 'vierdraadstel'-mast zoals getoond op bovenstaande figuur, ofwel voor twee eenvoudige masten die naast elkaar worden geplaatst. Deze zullen sterk lijken op de LCC ±320 kV masten. Eventueel kunnen de geleiders (en daardoor ook het mastlichaam) lichter uitgevoerd worden dan in de LCC-variant.

Afhankelijk van het spanningsniveau van de DC-lijn wordt de keuze van type en aantal deelgeleiders niet enkel door het vermogen bepaald, maar ook door het geluidsniveau.[35] Volgende geleiders worden voorzien:

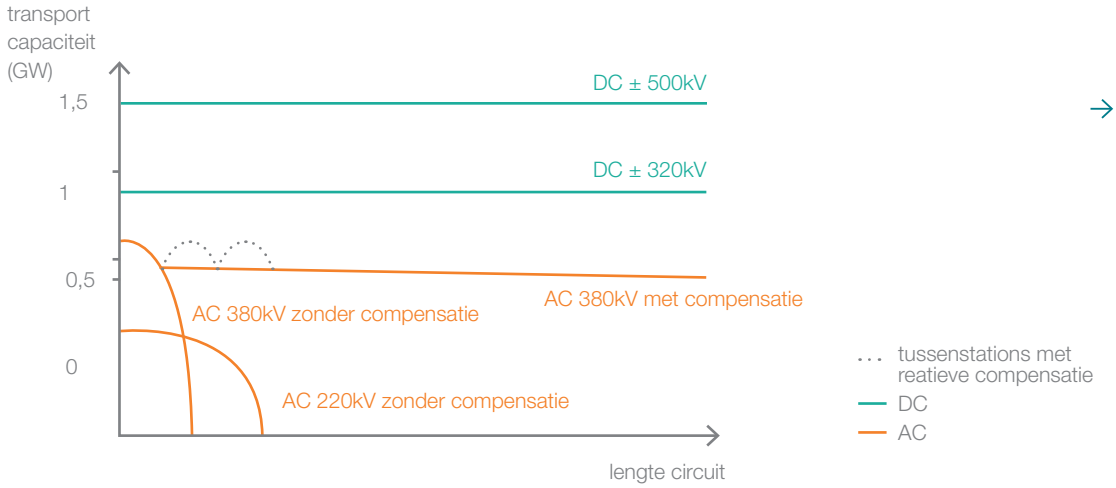
4.2.2.3 Technologie toegepast op case study

Zowel bij de conversiestations als bij de luchtlijnen zijn er veel mogelijkheden. Er is namelijk keuze qua technologie, topologie, spanning en maximaal vermogen. Het is onmogelijk om alle combinaties verder in detail te bestuderen. Met volgende vier gevallen is het mogelijk om de impact van elke parameter te analyseren volgens de verschillende evaluatiecriteria. In deze case study zullen we ons daarom beperken tot deze gevallen.

- 2xLCC ±320 kV rigid bipole 3000 MW aan beide zijden, 4x707 AMS-2Z, met mastsilhouetten volgens figuur 26: deze oplossing geeft de meest compacte masten.
- 1xLCC ±600 kV bipole met nulgeleider 6000 MW, 4x928 AMS-3Z, met mastsilhouetten volgens figuur 26: dit is de enige oplossing met slechts één conversiestation aan elk uiteinde.
- 4xVSC ±320 kV symmetric monopole 1500 MW aan beide zijden, 2x707 AMS-2Z, met mastsilhouetten volgens figuur 26: deze oplossing heeft het voordeel dat gewerkt kan worden met de goedkopere en compactere symmetrische monopolen. Om de corridor zo smal mogelijk te houden werd ervoor gekozen om één vier-draadstel mast te gebruiken in plaats van twee afzonderlijke masten.

35 Zie ook Cigré, technische brochure 388 'Impact of HVDC lines on the economics of HVDC projects' en §8.3.

36 Overgedimensioneerd om het geluidsniveau te beperken (zie ook §8.3)



Figuur 27
De transmissiecapaciteit van ondergrondse kabels volgens hun lengte

- 2xVSC ±500 kV rigid bipole 3000 MW aan beide zijden, 4x707 AMS-2Z, met mastsilhouetten volgens figuur 26: dit is de enige VSC-oplossing met maar twee circuits.

Net zoals bij AC-luchtlijnen kunnen andere mastsilhouetten ontworpen worden. De hier gekozen mastsilhouetten leunen zo kort mogelijk aan bij deze van AC om een zo correct mogelijke vergelijking te kunnen doen.

4.2.3 Ondergronds

4.2.3.1 Kabel

Momenteel zijn er twee types kabels gangbaar voor DC-verbindingen: *Mass Impregnated* (MI) en *Cross-linked Polyethyleen* (XLPE).

Bij MI-kabels bestaat de isolatie uit papier die in olie is gedrenkt. De MI-kabels hebben ook een grote kromtestraal[37] waardoor er minder wikkelingen kunnen op één bobijn[38]. Dit zorgt ervoor dat maar 500m kabel per keer kan getransporteerd worden. Er zijn dus veel stukken die aan elkaar gezet moeten worden en bovendien is het aan elkaar zetten van twee stukken MI-kabel zeer arbeidsintensief. Gezien de lengte van de verbinding, het aantal parallelle circuits en de strakke timing van de beschouwde projecten, is deze optie niet realistisch qua timing[39]. Gelet op deze beperking zal dit type van kabel niet verder worden bestudeerd.

XLPE-kabels voor DC-verbindingen zijn gelijkaardig aan deze voor de AC-verbindingen. Deze kabels hebben een lage kromtestraal en vergen dus minder “moffen”. Dit type kabel is dan ook geschikt voor lange kabelverbindingen op het vasteland.

Bij LCC-conversiestations moesten tot voor kort MI-kabels gebruikt worden. Er is echter onderzoek bezig om ook XLPE-kabels te gebruiken en één leverancier heeft zelfs een XLPE-kabel in dienst met LCC-conversiestations[40].

De bepaling van de maximale stroom door een DC-kabel loopt gelijkaardig aan deze van een AC-kabel met de uitzondering dat er geen stromen geïnduceerd worden in de schermen van naburige kabels, waardoor er hier geen warmte wordt geproduceerd. Daarom kunnen de kabels ook dichter bij elkaar worden geplaatst zonder veel aan transmissiecapaciteit in te boeten. Er treedt ook geen *skin effect* op en het is daarom niet nodig om de verschillende geleiders in de kern te emailleren om de kabel optimaal te benutten.

De maximale sectie van de geleider die gangbaar is op de markt, is net als bij AC-kabels 2500mm². De hoogste spanning momenteel in aanbouw is de ±400 kV-kabel voor de Nemolink tussen België en het Verenigd Koninkrijk, maar de

37 Dit is de minimum straal van de bochten. Een grotere kromtestraal betekent dus dat ruimere bochten moeten genomen worden.

38 Dit is een “haspel” geschikt voor transport van HV-kabels.I

39 Dit type kabel wordt voornamelijk gebruik voor offshore verbindingen waar de kabel op een boot op een veel grotere bobijn kan worden gewikkeld en dus niet om de 500m vermoft moet worden.

40 Sumitomo Electric Industries met de Hokkaido-Honshu link

meeste leveranciers geven aan dat 500 kV ook haalbaar is.

Volgende vermogens zijn haalbaar per kabelcircuit:

- ± 320 kV: 1000 MW
- ± 500 kV: 1500 MW

Een groot verschil met AC-kabels is dat bij DC geen reactieve energie bestaat en er dus ook geen tussenstations moeten geplaatst worden. Het transportvermogen bij DC-kabels daalt nauwelijks met de afstand (zie figuur 27).

4.2.3.2 Technologie toegepast op de case study

Om het aantal conversiestations en het aantal parallelle circuits te beperken, bekijken we hier enkel 500 kV-oplossingen. Dit is namelijk de maximale gangbare spanning voor DC-kabels.

- 2 x LCC 500 kV rigid bipole 3000 MW aan beide zijden, met 2 kabelcircuits per conversiestation dus 4 kabelcircuits in totaal
- 4 x VSC 500 kV symmetric monopole 1500 MW aan beide zijden, met 1 kabelcircuit per conversiestation dus 4 kabelcircuits in totaal: deze oplossing heeft het voordeel dat gewerkt kan worden met de goedkopere en compactere symmetrische monopolen. Bovendien verliezen we slechts 1,5GW bij een incident en werken we hier niet op de limieten van wat haalbaar is op de markt, hetgeen een ruimere concurrentie toelaat.
- 2 x VSC 500 kV rigid bipole 3000 MW aan beide zijden, met 2 kabelcircuits per conversiestation dus 4 kabelcircuits in totaal: dit is de enige VSC-oplossing met maar twee conversiestations.

Oplossing met bipolen met nulgeleider worden niet weerhouden omdat deze zorgen voor 50% meer kabels.

4.2.3.3 GIL

De DC-GIL is nog in ontwikkeling. Op dit moment zijn nog geen details beschikbaar, maar we gaan ervan uit dat dit gelijkaardig zal zijn aan de AC-GIL, waarbij slechts twee buizen per circuit nodig zijn.

4.2.3.4 Supergeleider

Deze technologie is zeer gelijkaardig aan de AC-technologie. In het kader van het Best Paths[41] project is een eerste testlus (30m) gebouwd op ±320 kV, met een nominale stroom van 10.000A, hetgeen een vermogen geeft van 3,2GW per pool. Met deze kabel zou het dus mogelijk zijn om op ±320 kV een LCC bipool te maken met nulgeleider van 6GW. Bij VSC is de maximale stroom in de IGBT's op dit moment de beperkende factor en zouden er dus nog steeds 2 circuits nodig zijn.

41 www.bestpaths-project.eu

V

Evaluatiecriteria

5.1 | Technisch
5.1.1 | Betrouwbaarheid & beschikbaarheid
5.1.2 | Impact op de netuitbating
5.1.3 | Maturiteit
5.1.4 | Flexibiliteit en aftakkingen
5.1.5 | Opportuniteiten
5.2 | Economisch
5.2.1 | Investeringskost
5.2.2 | Onderhoudskost
5.2.3 | Netverliezen
5.3 | Impact op milieu & omgeving
5.3.1 | Grondinname tijdens en na werken
5.3.2 | Visuele impact
5.3.3 | Geluid
5.3.4 | Magnetische velden
5.3.5 | Broeikasgasemissies

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

V Evaluatiecriteria

5.5 TECHNISCH

5.5.1 Betrouwbaarheid & beschikbaarheid

De **beschikbaarheid** en **betrouwbaarheid** van een bepaalde technologie zijn belangrijke criteria, zeker gezien het hier de 380 kV backbone betreft. Deze dient immers steeds operationeel te zijn om zijn maatschappelijke rol te vervullen (integratie van hernieuwbare energie, marktintegratie en bevoorradingszekerheid) en dit bij een toenemende complexiteit (grotere, variabele energiestromen in een supranationale context). Om dit te kunnen realiseren mag het niet gebeuren dat een verbinding geregeld onbeschikbaar is en mogen herstellingswerken niet te lang duren. Bovendien, zoals eerder vermeld, dient bij uitval van één element de werking van het net gegarandeerd te blijven.

De beschikbaarheid en betrouwbaarheid zijn ook afhankelijk van hoe andere netelementen zich gedragen. Het is echter onmogelijk om al deze elementen op te nemen en we hanteren in deze studie dan ook twee maatstaven om dit criteria in te vullen. Deze zijn, gerangschikt van meest kritisch naar minder kritisch:

- **De faalkans** van een circuit: dit is het aantal keer dat een circuit faalt over de periode van één jaar (“forced outage rate).
- **De hersteltijd.** Samen met de faalkans kunnen we hiermee de tijd berekenen dat een circuit onvoorzien onbeschikbaar is (‘Forced Energy Unavailability’).

5.1.2 Impact op de netuitbating

Het elektriciteitsnet uitbaten (het garanderen van het evenwicht op elke seconde 24u op 24u, het plannen van het onderhoud van het net,…) is zeer complex. Bepaalde technologieën kunnen ervoor zorgen dat de complexiteit nog verder toeneemt. Vermits Elia ernaar streeft om het net op een zo efficiënt mogelijk maar uiteraard ook op een veilige manier haar net uit te baten, worden er ook verschillende criteria opgenomen die gelinkt zijn aan de impact van een technologie op de netuitbating.

Het **aantal elementen die nodig zijn om de verbinding te maken**, hebben een directe impact op de complexiteit van de uitbating van deze verbinding.

Naast deze complexiteit kunnen er ook bepaalde **netfenomenen** ontstaan. Dit kan gezien worden als een “vervuiling” van het net vermits deze fenomenen niet wenselijk, moeilijk voorspelbaar zijn en een impact kunnen hebben op de elektrische installaties van klanten die verbonden zijn aan het net. Bovendien kunnen zij tot een instabiel net leiden, wat onaanvaardbaar is. Enkele voorbeelden hierbij zijn resonanties (harmonischen of eigenfrequenties), transiënten en spanningssprongen.

Een bijkomend criteria is de **korstluitstroom**. Indien er een kortsluiting plaatsvindt, voeden de omliggende productie-eenheden deze fout en hierdoor zullen grote foutstromen ontstaan. Deze foutstromen dienen onder een bepaalde limiet te worden gehouden om te vermijden dat “gezonde” installaties tijdens de kortsluiting beschadigd worden en dat bijkomende netelementen uitvallen. Een technologie die erin slaagt om de korstluitstroom zo laag mogelijk te houden (of de foutstroom zoveel mogelijk kan dempen), zal dus beter scoren in deze analyse. Kortsluitvermogens boven 63kA zijn niet meer standaard voor hoogspanningsmateriaal. In dat geval zullen dan de bestaande installaties ook in de eindstations volledig vervangen moe-

ten worden. Vandaar dat er maatregelen dienen genomen te wordenbij het gebruik van technologieën die deze grens zouden overschrijden[42].

Een laatste criterium is de **heropbouw van het net** na een eventuele black-out. Een net in opbouw is zeer zwak[43] en fragiel. Sommige technologieën werken niet in deze situatie of kunnen het net in opbouw terug doen instorten. Doordat klassieke productie-eenheden meer en meer worden vervangen door kleine hernieuwbare productie-eenheden zal dit aandachtspunt in de toekomst nog belangrijker worden. Bij de technologieën die wel geschikt zijn is ook de snelheid waarmee de verbinding terug operationeel kan zijn belangrijk. Dit is sterk afhankelijk van uit hoeveel elementen de verbinding bestaat. Een verbinding uit veel elementen terug inschakelen zal veel langer duren en zal dus minder goed scoren op dit criterium.

5.1.3 Maturiteit

De maturiteit van een technologie omvat volgende aspecten:

- Hoe lang bestaat de technologie en wordt deze vaak toegepast;
- Zijn er veel ontwikkelaars;
- Hebben andere transmissienetbeheerders al ervaring met deze technologie.

Dit criterium wordt als zijnde beter beoordeeld naarmate de technologie al een lange geschiedenis heeft, er verschillende ontwikkelaars zijn en ervaringen in het buitenland de technologie bevestigen.

Beide projecten beschreven in paragraaf 3 hebben een zeer strakke timing. De tijd voor nieuwe ontwikkelingen is zeer beperkt. We weerhouden daarom enkel beproefde technologieën, liefst door verschillende ontwikkelaars.

5.1.4 Flexibiliteit en aftakkingen

De ontwikkeling van de nieuwe corridors laat desgewenst toe om de link met de onderliggende, regionale netten te versterken. Dit gebeurt door de creatie van aftakpunten op de corridor waar dan een transformator of conversiestation wordt geplaatst naar het onderliggende net. Deze transformator kan zowel energie aanvoeren als afvoeren.

Deze aftakpunten zijn belangrijk, gelet op:

1. de veranderende energiemix: een toenemend aandeel hernieuwbare dus variabelere productie in combinatie met een afnemend aandeel klassieke centrales in de regionale netten
2. de rationalisatie van de structuur van de onderliggende netten die hiermee mogelijk wordt gemaakt.

Bepaalde technologieën zijn eenvoudiger aan te passen om bijvoorbeeld een nieuw hoogspanningsstation op aan te sluiten of kunnen eenvoudiger en sneller uitgebreid worden met aftakpunten om zo in te spelen op nieuwe behoeften. Deze technologieën zullen dan ook beter scoren op de evaluatie.

5.1.5 Opportuniteiten

Een aantal technische criteria zijn niet verplicht voor de verwezenlijking van de projecten beschreven in paragraaf 3, maar kunnen wel een voordeel opleveren, nu of in de toekomst. Dit criterium leidt dus niet tot de uitsluiting van een technologie, maar kan wel de onderlinge ranking beïnvloeden.

Het eerste criterium is de **mate van overbelasting** die toelaatbaar is voor een technologie. Dit kan een voordeel zijn indien de belasting op het net zeer hoog is en dient overschreden te worden (zeer uitzonderlijk).

Een tweede opportuniteit is het leveren van **reactief vermogen**. Het toekomstig hoogspanningsnet zal meer en meer behoefte hebben aan installaties die reactief

42
Vermogensschakelaars 80kA om een hoge tijdsconstante te compenseren kunnen wel aanvaard worden.

43
Een zwak net is een net met een laag kortsluitvermogen.

vermogen kunnen injecteren en absorberen. Indien een technologie reactief vermogen kan leveren is dit een voordeel voor de stabiliteit van het elektricteitsnet.

Tot slot beschouwen we ook het kunnen **sturen van fluxen** als een opportuniteit. Hierdoor kan het net efficiënter gebruikt worden en kunnen andere maatregelen, zoals het plaatsen van Phase Shifting Transformers (PST's) vermeden worden.

5.2 ECONOMISCH

5.2.1 Investeringskost

De **investeringskost** omvat de kost voor de studies, het design, het materiaal en de bouwkundige en elektrische werken. Er wordt nog geen rekening gehouden met de kosten die gepaard gaan met de aankoop van terreinen en compensaties.

Bij DC-technologieën is de kans reëel dat de conversiestations omwille van hun omvang niet vlakbij een bestaand hoogspanningsstation kunnen worden ingeplant. In deze situaties dient een bijkomende AC-verbinding te worden gemaakt tussen de conversiestations en het AC-hoogspanningsstation. Verder zullen ook bijkomende terreinen moeten worden aangekocht. Deze potentiële meerkost wordt nog niet in rekening gebracht.

Het is ook niet evident om goed cijfermateriaal te vinden om een economische vergelijking te maken. Volgende bronnen zijn beschikbaar:

- Soortgelijke projecten: gedetailleerde cijfers van relevante projecten worden zelden publiek gemaakt. Meestal wordt er één enkel totaalcijfer meegedeeld, maar het is niet altijd duidelijk wat er wel en wat er niet in dit bedrag vervat zit (ook eindstations, aankoop van gronden, verzekering, …?). Ook is elk project net iets anders, maar doordat er geen detail is, is het moeilijk in te schatten hoe de prijs moet aangepast worden.
- Leveranciers: voor deze studie hebben we een tiental leveranciers van de belangrijkste materialen gesproken. Veel van de technologieën hier besproken zijn nog maar net op de markt of zelfs nog in een R&D-stadium. De meeste leveranciers waren daarom niet bereid gedetailleerde info te geven en meermaals hebben we geheel geen antwoord gekregen. De beste informatie waren een aantal vuistregels, zoals "Als het vermogen met x% verhoogt, stijgt de prijs met ongeveer y%".

  In de gevallen dat we wel een budgettaire prijs hebben gekregen moeten we er rekening mee houden dat dit meestal een basisprijs is voor het ideale geval. Elk project komt obstakels tegen die de prijs verhogen.

  Ook is de meeste informatie die we hebben gekregen vertrouwelijk, waardoor het minder bruikbaar is voor dit rapport en we niet altijd kunnen refereren naar onze bronnen.
- Eigen projecten: hierbij weten we zeer goed hoe de prijs is opgebouwd en er is ook geen probleem om de bron te citeren. Een aantal technologieën zijn evenwel nog niet toegepast binnen Elia en wat de technologieën betreft die reeds zijn toegepast, was dit meestal op kleinere schaal.

Om zo goed mogelijke prijzen op te stellen, hebben we ervoor gekozen om ons zoveel mogelijk op eigen en recente (bijna) afgewerkte projecten te baseren en waar nodig deze prijzen te extrapoleren. Soms hebben we ons moeten baseren op prijzen van leveranciers. In deze gevallen hebben we de prijzen met 10% verhoogd om eventuele onvoorziene kosten te compenseren. De finale prijzen hebben we getoetst met de prijzen gehanteerd in buitenlandse projecten.

Bovenop de technische basisoplossingen die voor de verschillende technologieën beschreven zijn in hoofdstuk 4, zullen ook twee opties mee bekeken worden:

- Sturing van fluxen: bij DC is dit een opportuniteit van het conversiestation. Bij AC moeten hiervoor PST's of Phase Shifting Transformers geplaatst worden in één van de eindstations.
- Aftakking: we zullen hier een redundante injectie naar het 150 kV net beschouwen. Op het (AC) Elia-net gebeurt dit momenteel door middel van twee transformatoren 555MVA. Bij DC nemen we hiervoor twee conversiestations met hetzelfde vermogen.[44]

Verder trachten we steeds een inschatting te maken van de prijzen vandaag en een vooruitzicht te geven binnen 5 jaar, wanneer de new corridor-projecten effectief besteld zullen worden.

Opmerking: omdat prijzen voor gronden sterk kunnen verschillen, zijn deze niet meegenomen in de vergelijking.

5.2.2 Onderhoudskost

Periodieke controle, opvolging en onderhoud (zoals bv. schilderwerken) van de elektrische installaties zijn zeer belangrijk. Door regelmatige opvolging kunnen defecten (tijdig) opgespoord en hersteld worden. Uiteraard brengt dit ook een kost met zich mee die afhankelijk is van technologie tot technologie. Voor deze kost zullen we ons baseren op de statistieken die Elia hierover bijhoudt.

5.2.3 Netverliezen

Door een verbinding loopt stroom, hierdoor warmt de verbinding op en gaat er een deel van het geproduceerde vermogen op natuurlijke of gedwongen wijze verloren in de vorm van warmte. Dit zijn **actieve netverliezen**. De groep van netverliezen bestaat ook nog uit de **nullastverliezen** die zich manifesteren indien er zelf geen vermogen wordt getransporteerd alsook de verliezen veroorzaakt door inwendige schakelingen.

De netverliezen evolueren anders als we het vermogen laten variëren. Voor de berekeningen van de verliezen zal het belastingprofiel uit paragraaf Belasting genomen worden.

Om de kostprijs van de verliezen te berekenen baseert Elia zich op de door ENTSO-E ontwikkelde methode nl. een *societal cost-benefit* analyse. In deze oefening wordt een gemiddelde kostprijs van 60€/MWh in rekening gebracht. Dit valt binnen de verwachte toekomstscenario's beschreven in het *Ten Year Network Development Plan* van 2018[45]. Hierbij worden de verliezen geschat op basis van de groothandelsprijs van elektriciteit op de *day-ahead* markt. Hun inschattingen variëren tussen 50€/MWh tot 90€/MWh. We zullen ook de invloed van deze range bespreken.

Een technologie die weinig verliezen genereert, zal dus ook beter scoren op de kost voor de netverliezen.

5.3 IMPACT OP MILIEU & OMGEVING

5.3.1 Grondinname tijdens en na werken

Met betrekking tot grondinname wordt er een onderscheid gemaakt tussen de inname tijdens de werken en erna. De inname wordt uitgedrukt in m^2 en daarna omgerekend naar voetbalvelden (0,5ha of 5000 m^2).

5.3.2 Visuele impact

De visuele impact is een criterium dat moeilijker te objectiveren valt en ook niet kan worden uitgedrukt in een objectieve meeteenheid. Dit criterium wordt dan ook kwalitatief beschreven.

44 Dit vermogen zou enerzijds iets lager genomen kunnen worden omdat enkel actief vermogen wordt geconverteerd. Anderzijds moet het vermogen verhoogd worden om de cyclische overbelasting van transformatoren te compenseren.

45 Bron: zie https://tyndp.entsoe.eu/maps-data/ met volgende publicatie : https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP2018/Scenarios%20Data%20Sets/Scenario%20Building%202018%20Outputs.xlsx.

5.3.3 Geluid

Voor geluid (uitgedrukt in decibel) bestaat er in de verschillende gewesten een eigen wettelijk kader voor de immissies ten gevolge van installaties in hoogspanningsstations.

In Vlaanderen is dit VLAREM-II. Hoogspanningsposten moeten geluidsnormen respecteren waarbij de bestemming van het gebied en de periode van de dag meespelen voor een evaluatie. Transformatoren, shuntreactoren en PST's worden bijna altijd nog eens gepenaliseerd door het dikwijls voorkomen van "tonaal geluid". Niet-ingedeelde inrichtingen, zoals hoogspanningsleidingen, maar ook schakelapparatuur en dergelijke, moeten eveneens aan geluidsnormen voldoen. In Vlaanderen zijn deze normen gelijk aan deze voor ingedeelde inrichtingen. De vergunningverlenende overheid kan strengere geluidsnormen opleggen.

In Wallonië zijn de normen bepaald in het "Besluit van de Waalse Regering dat de algemene uitbatingsvoorwaarden vastlegt van inrichtingen zoals bedoeld door het decreet van 11 maart 1999 betreffende de milieuvergunning". Ook hier variëren de geluidsnormen naargelang de periode van de dag en de bestemming van het gebied. Er is een penaliteit voor tonaal geluid. De geluidsnormen in een vergunning kunnen strenger of soepeler zijn dan de wettelijke bepalingen.

Voor bovengrondse hoogspanningslijnen is ook een Belgische norm (NBN EN50341-3) van toepassing. Volgens deze norm mag het hoorbare geluid van een bovengrondse hoogspanningsverbinding van meer dan 45 kV op een afstand van 20m tot de dichtstbijzijnde geleider niet hoger zijn dan 53 dB(A) bij slecht weer en 40 dB(A) bij mooi weer in residentiële bebouwde wijken.

Elke technologie moet voldoen aan het wettelijk kader. De wijze waarop en mate waarin hier aan voldaan kan worden, verschilt tussen deze verschillende technologieën. Afhankelijk van de technologie kan het mogelijk zijn dat ingrijpende maatregelen (bv. hoge geluidsmuren) genomen dienen te worden om de normen te kunnen halen.

5.3.4 Magnetische velden

Voor magnetische velden zijn diverse wetgevingen/normen/aanbevelingen van toepassing.

Op Europees niveau is 100 µT opgenomen als grenswaarde in de Aanbeveling 1999/519/CE voor publieke blootstelling aan elektromagnetische velden. Deze aanbeveling is niet-bindend.

In Wallonië en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn er normen voor de uitbating van transformatoren: een grenswaarde van 100µT wordt opgelegd.

In Vlaanderen zijn in het "Besluit houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu" richt- en interventiewaarden voor magnetische velden vastgelegd op respectievelijk 0,4 µT (op jaargemiddeld niveau) en 20 µT (gemiddeld op dagniveau). De Mededeling aan de leden van de Vlaamse Regering over nieuwe luchtlijnen op hoge spanning (VR 2012 0106 MED.0252/1) bevat o.a. volgende aanbevelingen voor wonen en verblijven in de buurt van hoogspanningslijnen:

- Bij nieuwe hoogspanningslijnen het overspannen van bestaande gevoelige functies (scholen, kinderdagverblijven)/ woningen/ onbebouwde woonpercelen tot een minimum beperken.
- Geen nieuwe gevoelige functies plaatsen in de magneetveldzone van bestaande hoogspanningslijnen.

Tenslotte is er op federaal vlak het Advies van de Hoge Gezondsheidsraad (nr 8081) uit 2008 dat adviseert om kinderen jonger dan 15 jaar niet langdurig bloot te stellen

aan waarden hoger dan 0,4 µT gemiddeld. Dit advies legt geen norm op.

Elia respecteert vanzelfsprekend de wetgeving en tracht de blootstelling aan magnetische velden zo veel mogelijk te vermijden. Er zijn grote verschillen tussen de technologieën en deze worden dan ook beschreven per technologie.

5.3.5 Broeikasgasemissies

De elektrische verliezen in de verbinding moeten gecompenseerd worden door extra elektriciteitsproductie die gaat gepaard met een CO_2-uitstoot waarvoor we de gemiddelde uitstoot van de Europese energiemix nemen.

De CO_2-uitstoot wordt geschat op basis van de verwachte toekomstscenario's beschreven in het *Ten Year Network Development Plan* van 2018 van ENTSO-E[46]. Deze scenario's geven aan dat tegen 2025 de uitstoot in de EU zal gedaald zijn tot ongeveer 200g/kWh_e. De scenario's in het TYNDP18 evolueren naar 50 à 100 kWh_e tegen 2040 en tegen 2050 zou de elektriciteitsproductie volledig of bijna volledig vrij moeten zijn van uitstoot dankzij de vergroening van de elektriciteitsproductie. In deze analyse veronderstellen we daarom dat de gemiddelde uitstoot over de levensduur van de verbinding 100g CO_2 per kWh_e zal bedragen.

Daarbuiten maken sommige technologieën gebruik van het sterke broeikasgas SF_6. Ook de eventuele lekkages van deze gassen dragen bij tot de broeikasgasemissies.

46

TYNDP18 scenario framework, zie : https://www.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP2018/Scenarios%20Data%20Sets/Scenario%20Building%202018%20Outputs.xlsx.

VI

Technische analyse

6.1 | Betrouwbaarheid & beschikbaarheid
6.1.1 | AC-technologie
6.1.2 | DC-technologie
6.2 | Impact op netuitbating
6.2.1 | AC-technologie
6.2.2 | DC-technologie
6.2.3 | Conclusie
6.3 | Maturiteit
6.3.1 | AC-technologie
6.3.2 | DC-technologie
6.3.3 | Conclusie
6.4 | Aftakkingen
6.4.1 | AC-technologie
6.4.2 | DC-technologie
6.4.3 | Conclusie
6.5 | Opportuniteiten
6.5.1 | AC-technologie
6.5.2 | DC-technologie
6.6 | Conclusie

VI Technische analyse

6.1 BETROUWBAARHEID & BESCHIKBAARHEID

6.1.1 AC-technologie

6.1.1.1 Luchtlijn

Een circuit van een luchtlijn bestaat uit drie delen: de luchtlijn zelf en aan beide uiteinden een schakelveld met beveiligingen.

→ Faalkans

De meeste incidenten op een luchtlijn worden veroorzaakt door blikseminslagen. De huidige beveiligingen zijn echter in staat om de betrokken fase kort uit te schakelen tot bliksemoverspanningen verdwenen zijn en vervolgens weer kan worden gegaan naar een normale uitbating. Deze incidenten hebben nagenoeg geen invloed op het net en we nemen ze daarom niet verder in beschouwing.

Afgaande op de statistieken die Elia heeft verzameld zien we voor de overige fouten 0,24 fouten per jaar per 100 km circuit. Cigré heeft ook een paper[47] gepubliceerd met een vergelijkbare frequentie, namelijk 0,22.

Aan beide uiteinden van een circuit is ook een schakelveld nodig. Het aantal falingen van de verschillende toestellen in een schakelveld zijn het voorwerp geweest van internationale studies in het kader van Cigré[48]. Hiermee komen we uit op 0,03 falingen per schakelveld per jaar.[49]

Het totaal aantal falingen voor één circuit van 75 km komt zo op ongeveer 0,24 per jaar. Voor 2 circuits komt dit neer op 0,48 falingen per jaar, hetzij één uitval van een circuit elke 2 jaar.

→ Hersteltijd

Ervaring leert dat de hersteltijd meestal beperkt kan worden tot 24u, uitgezonderd het falen van een mast (zie verder). Hieruit volgt dat elk jaar gemiddeld gedurende een halve dag één van de circuits buiten dienst zal zijn wegens een defect.

→ Mastbreuk

De betrouwbaarheid van een mast hangt af van de oorspronkelijke dimensionering en de terugkeerperiode die voor extreme weersomstandigheden (bv. wind of sneeuw) in aanmerking genomen werd. De nieuwe norm EN 50341 voorziet in drie betrouwbaarheidsniveaus. In bepaalde gevallen kunnen die verder aangescherpt worden. De onderstaande figuur laat de evolutie qua betrouwbaarheid zien van een standaard mast 380 kV sinds de aanleg van het Belgische 380 kV-net tot de meest recente projecten. In deze grafiek worden twee begrippen gebruikt:

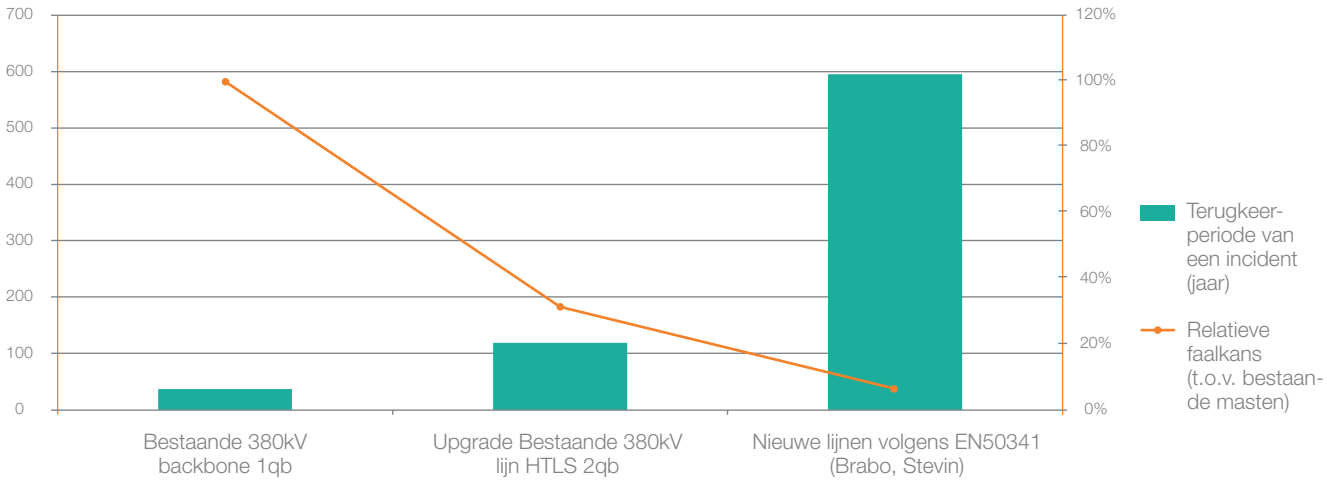
- enerzijds de terugkeerperiode van een incident met mastbreuk op de lijn, uitgedrukt in aantal jaren. Voor een nieuwe lijn met een lengte van 80 km is dit één keer per 600 jaar dat dit ergens op de lijn gebeurd.
- anderzijds de relatieve kans op een incident met mastbreuk in percentages; de referentiewaarde van 100% komt overeen met het oorspronkelijke 380 kV-net dat voornamelijk in de jaren '70 aangelegd werd.

Gezien de zeer geringe kans op een incident kunnen we dit beschouwen als aanvaardbaar.

47 Cigre-paper "Availability and Risk Assessment of 380 kV Cable Systems in Transmission Grids"

48 Zie technische brochures TB509, TB510, TB511 en TB512

49 Dit is geldig voor een AIS-schakelveld. Voor een GIS-schakelveld is de faalkans kleiner, maar de hersteltijd langer.



↑ **Figuur 28**
Betrouwbaarheid van luchtlijnen 380kV bij Elia

6.1.1.2 Kabel

Ook hier bestaat elk circuit uit een kabel met aan de uiteinden twee kabelvelden. Daarnaast zijn er ook velden met shuntreactoren.

→ 380 kV

→ Faalkans

Uit cijfers van Cigré leiden we af dat een kabel per 100 km gemiddeld 0,15 keer per jaar faalt door een inwendig defect en 0,12 keer door externe oorzaken (vooral graafwerken), hetgeen een totaal geeft van 0,27 keer per jaar. Qua schakelvelden moeten we ermee rekening houden dat minstens één tussenstation nodig is. Het totaal aantal falingen voor één circuit van 75 km, inclusief vier schakelvelden, komt daardoor op ongeveer 0,33 per jaar. Vermits we hier 6 parallelle circuits hebben zullen gemiddeld 2 circuits uitvallen per jaar.

→ Hersteltijd

De hersteltijd is hier veel langer dan bij luchtlijnen. Cijfers uit TB379 geven aan dat een gemiddelde herstelling 25 dagen duurt. Gemiddeld zal gedurende 40 dagen per jaar een kabel buiten dienst zijn voor herstelwerkzaamheden.

→ Shuntreactoren

Het verlies van een shuntreactor leidt nagenoeg nooit tot een verlies van de transportcapaciteit, op voorwaarde dat de shuntreactoren op aan afzonderlijk schakelveld worden geplaatst. Namelijk, wanneer de transportcapaciteit kritiek is, gaan er hoge stromen door de kabels. Hierdoor wordt de kabel minder capacitief, waardoor er minder reactief vermogen moet geabsorbeerd worden.

Indien er shuntreactoren rechtstreeks op de kabel worden geplaatst, moet deze faalkans erbij opgeteld worden. Cijfers voor shunt reactoren zijn nog zeer beperkt, maar we kunnne veronderstellen dat deze in dezelfde grootteorde zitten als transformatoren. Transformatoren hebben een faalkans van 0,5% per jaar. Als het mogelijk is om de verbinding terug in dienst te brengen zonder shunt reactor kan deze binnen 1 dag worden afgekoppeld.

→ 220 kV

Er zijn hier 10 in plaats van 6 kabelcircuits en bovendien staan aan beide kanten transformatoren. Voor deze laatste kunnen we beroep doen op de Elia statistieken. Dit geeft volgende cijfers:

- Gemiddeld aantal falingen per jaar ('Forced Outage Rate'): 3,3 (kabel) + 1 (transformatoren) = 4,3
- Gemiddelde jaarlijkse onbeschikbaarheid wegens herstelling ('Forced Energy Unavailability'): 67 dagen (kabel) + 10 dagen (transformator) = 77 dagen

6.1.1.3 GIL

Vanwege het gebrek aan maturiteit van deze technologie zijn te weinig gegevens beschikbaar om deze te beoordelen. We kunnen enkel kwalitatief volgende aandachtspunten geven.

In de GIS-technologie zijn gaslekken één van de meest voorkomende problemen. De verschillende elementen van een GIL worden echter aan elkaar gelast in plaats van gebout. Het is dan ook te verwachten dat het aantal gaslekken veel lager zal liggen bij een GIL. Desalniettemin mogen we dit risico voor de lange lengtes van onze case niet negeren.

Indien er zich een probleem voordoet, is de hersteltijd zeer lang. Enkel de gashandelingen[50] kunnen weken in beslag nemen, afhankelijk van de lengte van de compartimenten.

6.1.1.4 Super geleiders

Vanwege het gebrek aan maturiteit van deze technologie zijn te weinig gegevens beschikbaar om dit onderdeel te beoordelen. We kunnen enkel kwalitatief volgende aandachtspunten geven.

Voor supergeleidende systemen zijn actieve koelinstallaties nodig (cryogene vloeistof, pompen, compressoren enz.). Van zodra de temperatuur iets te hoog wordt in de geleider valt de supergeleiding volledig weg en valt de transportcapaciteit terug op quasi nul. Er is daarom voldoende aandacht nodig naar de redundantie van deze koelinstallaties om de beschikbaarheid van het supergeleidende kabelsysteem te waarborgen.

De leveranciers kondigen ook aan dat bij een storing de onderbrekings- en reparatietijd langer uit zal vallen dan bij klassieke kabels.

6.1.1.5 PST

Indien een beperkte sturing van de stromen nodig is, moeten bij de AC-oplossingen PST's of Phase Shifting Transformers worden bijgeplaatst[51]. We beschikken niet over betrouwbare statistieken voor deze speciale transformatoren, maar we schatten dat de faalkans ongeveer dubbel zo hoog is dan bij een gewone transformator, namelijk 1% per jaar. Er zijn vier PST's van 1,5GW nodig en bovendien 8 extra schakelvelden. Dit geeft in totaal 0,28 falingen per jaar extra. PST's kunnen wel eenvoudig gebypasst worden zodat de verbinding, zonder sturing, na 1 dag terug operationeel kan zijn.

6.1.2 DC-technologie

We beschikken hier enkel over cijfers voor een volledig systeem. We zullen daarom dit enkel analyseren op het niveau van het volledige systeem (conversiestations + circuit).

6.1.2.1 LCC

Volgens gegevens van CIGRE[52] met informatie over de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van **LCC-HVDC**-conversiestations, kan deze technologie gekenmerkt worden aan de hand van de volgende indicatoren (per set van conversiestations):

- Gemiddeld aantal falingen ('Forced Outage Rate'): van 2 tot 8 per jaar
- Gemiddelde onbeschikbaarheid wegens herstelling ('Forced Energy Unavailability'): van ongeveer 0,2 tot 0,8% van de tijd (1 tot 3 dagen per jaar)

→ **Verlies volledige 6GW**

Voor de werking van een LCC-conversiestation is de ondersteuning van een voldoende sterk AC-net nodig (zie ook hoofdstuk 6.2). Indien dit wegvalt, zullen alle LCC-conversiestations mee uitvallen. Dit risico treedt bijvoorbeeld op indien (een

50 Dit behelst voorafgaand aan de werken het evacueren van het gas uit de buizen en na de werken het vacuumpompenvacuumpompen (nodig om al het vocht uit de buis te halen) en het terug te vullen met gas.

51 Opmerking: in het geval van een kabel 220kV kan de PST-functie gecombineerd worden met de transformatoren 380/220kV. In dit geval zijn dus geen extra installaties nodig.

52 Cigré-paper "survey of the reliability of hvdc systems throughout the world"

	LCC			VSC			
	2 x 3000 MW rigid bipool met luchtlijn	6000 MW bipool met luchtlijn	2 x 3000 MW rigid bipool met kabel	2 x 3000 MW rigid bipool met luchtlijn	4 x 1500 MW symmetrische monopool met luchtlijn	2 x 3000 MW rigid bipool met kabel	4 x 1500 MW symmetrische monopool met kabel
Falingen per jaar	10,5	5,5	11	4,5	8,5	5	9
Aantal dagen herstelling	4,5	2,5	22	4,5	8,5	22	26

↑ **Tabel 3**
Falingen en hersteltijden van de verbinding per jaar

aantal) naburige verbinden zijn uitgeschakeld door defect of overbelasting. Dus net op het moment dat we de LCC-verbinding het meest nodig hebben, kan deze het laten afweten. Onder andere hierom is LCC-technologie niet aanvaardbaar voor dit project.

6.1.2.2 VSC

Wat de **VSC-HVDC**-conversiestations betreft, zijn momenteel slechts zeer weinig gegevens bekend over de werkelijke beschikbaarheid en betrouwbaarheid ervan. Daarom hebben we ons gebaseerd op de contractuele garanties waarin volgende waarden worden vermeld:

- Gemiddeld aantal falingen ≤ 2 per jaar
- Gemiddelde onbeschikbaarheid wegens herstelling ≤ 0,5% of 2 dagen per jaar

6.1.2.3 Verbinding

Boven op de falingen en de hersteltijden van de conversiestations moeten de falingen en hersteltijden van de verbinding nog bijgeteld worden. Het cijfermateriaal is hiervoor schaars. We gaan daarom uit van volgende veronderstellingen:

- Luchtlijnen: DC identiek aan AC
- Kabels: per monofasige kabel nemen we dezelfde statistieken voor AC en DC, waarbij we rekening moeten houden dat bij DC slechts acht in plaats van 18 kabels nodig zijn

We merken dat de conversiestations steeds meer onderhoud vragen dan de verbinding tussen beide. We gaan ervan uit dat deze werken zo goed mogelijk samen worden uitgevoerd met het onderhoud van het conversiestation, waarbij alle onderhoudswerken aan de verbinding worden gepland tijdens het onderhoud van de conversiestations.

6.1.3 Conclusie

Er is momenteel te weinig ervaring om goede betrouwbaarheidsstatistieken te trekken voor de GIL en zeker voor de supergeleiding.

Het aantal falingen is bij DC steeds beduidend hoger dan bij het AC alternatief. De hersteltijd is echter het hoogst bij de AC-kabel varianten.

6.2 IMPACT OP NETUITBATING

6.2.1 AC-technologie

6.2.1.1 Luchtlijn

De luchtlijn is een gekende en eenvoudig uit te baten technologie

- Complexiteit: de verbinding is eenvoudig want bestaat maar uit twee rechtstreekse connecties tussen de eindstations, enkel bestaande uit twee schakelvelden één draadstel. Mogelijks is er een nood voor een beperkte regeling van de stroom met behulp van PST's (phase-shifting transformers) aan één van beide uiteinden voor evenwich-

tige verdeling van de stromen binnen de vermaasde netstructuur. De complexiteit verhoogd hiermee, maar blijft aanvaardbaar.

- Netfenomenen: bij lengtes tot 100 km creëren deze weinig "vervuiling" op het net (zoals harmonischen, transiënten, spanningssprongen, …)
- Kortsluitvermogen: dit is de referentie-oplossing voor hoogspanningsnetten. We zullen de andere technologieën hiermee vergelijken.
- Netopbouw: de verbinding kan na een black-out eenvoudig weer in dienst worden gebracht.

6.2.1.2 Kabel

→ Complexiteit

Stel dat één tussenstation voldoende is, dan zijn er 12 stukken kabelcircuit en 42 shuntreactoren uit te baten plus een extra onderstation. Bovendien zullen er (actieve) filters moeten komen op de uiteinden. Dit geheel zal zeer complex zijn om uit te baten.

→ Netfenomenen

In hoofdstuk 4 beschreven we het fenomeen van resonanties. Door de omvang van deze oplossing hebben we zelfs geen uitsluitsel dat dit probleem onder controle kunnen hebben. Namelijk, hoe meer kabels in het systeem worden gebracht, hoe lager de resonantiefrequentie. Voor het Stevin-project lag de laagste frequentie op 350Hz, hetgeen nog aanvaardbaar is. Niemand heeft tot nu toe onderzocht wat er kan gebeuren als de frequentie daalt tot de meer kritieke frequenties:

- ± 250Hz: interferentie met (residentiële) elektronica
- 150Hz: sollicitatie van de aardingsnetten
- 100Hz: parallelle resonantie met vermogentransformatoren

50Hz: de netfrequentie.

Zeker deze laatste is problematisch omdat je deze niet kan wegfilteren. De impact op beveiligingen, hoogspanningsmaterieel of klanteninstallaties en de eventuele remedies blijven onduidelijk.

Merk op dat ook de ondergrondse kabels in het naburige net een invloed kunnen hebben. Zo zou het (deels) ondergronds plaatsen van de "Ventilus" een invloed hebben op het project "Boucle du Hainaut" en omgekeerd. Specifiek voor de "Ventilus" zouden ook het ondergronds gedeelte van de Stevin-as en de offshore kabels naar de windparken een invloed hebben.

Om deze reden heeft Tennet, de netbeheerder in Nederland, in overleg met de Nederlandse overheid, een totaal van 20 km tracélengte met maximum vier parallelle circuits (dus maximaal 80 km circuitlengte) als limiet gehouden over het ganse vermaasde 380 kV-net. Ter vergelijking: indien zowel het project "Ventilus", als het project "Boucle du Hainaut" in ondergrondse kabels wordt aangelegd, zijn over +/- 150 km hiervoor 6 parallelle circuits nodig, ofwel een totale circuitlengte van 900 km.

→ Kortsluitvermogen

Tijdens een kortsluiting voeden omliggende productie-eenheden (zoals elektriciteitscentrales) deze fout, waardoor er grote foutstromen ontstaan. De bijdrage van elke productie-eenheid hangt af van het type en van de demping veroorzaakt door het hoogspanningsnet. Verder gelegen eenheden dragen daarom minder bij tot de totale kortstuitstroom dan nabijgelegen eenheden. De totale kortsluitstroom die zo ontstaat moet onder een limiet blijven. Anders kunnen de omliggende "gezonde" installaties gedurende de kortsluiting beschadigd worden, waardoor meerdere netelementen of zelfs volledige hoogspanningsposten kunnen uitvallen, met meestal een black-out tot gevolg.

Door de lage ohmse weerstand en het capacitief karakter van AC-kabels worden kortsluitstromen veel minder gedempt dan bij AC-luchtlijnen waardoor de kortsluitstroom zal verhogen.

Elia heeft simulaties uitgevoerd die aantonen dat bij een volledige kabeloplossing van de projecten beschreven in hoofdstuk 3 de grens van 63kA zal worden overschreden.

Om de demping te verhogen moet er een impedantie (een spoel) worden geplaatst in serie met de kabels. Dit kan echter weer leiden tot nieuwe resonantiefenomenen op het net zoals beschreven in de vorige paragraaf.

→ Netopbouw

Door de vele elementen in de verbinding zal het veel langer duren om de verbinding terug tot stand te brengen. Bovendien zijn kleine netten, zoals een beginnend net in opbouw, gevoeliger. De bovenstaande fenomenen vergroten het risico dat het prille net weer instort bij de inschakeling van de kabelverbindingen.

→ Variant 220 kV

Het reactief vermogen in een kabel evolueert kwadratisch met de spanning. Een 220 kV-kabel genereert bijgevolg ongeveer 3 keer minder reactief vermogen dan een kabel 380 kV. De meeste problemen beschreven in dit hoofdstuk zullen daarom bij 220 kV minder pertinent aanwezig zijn.

Anderzijds dient wel opgemerkt te worden dat er 10 in plaats van 6 parallelle circuits nodig zijn en dat er aan beide uiteinden van de verbinding verscheidene transformatoren moeten worden geplaatst. Deze combinatie van kabels en transformatoren verhoogt het risico op resonanties. Het risico blijft hierdoor onaanvaardbaar hoog bij het volledig ondergronds brengen van de verbinding.

6.2.1.3 GIL

Zoals eerder gemeld, ligt bij een GIL de capaciteit per fase meer dan 4 keer lager dan bij AC- kabels[53] en zijn er slechts twee parallelle circuits in plaats van zes. De netfenomenen en bijhorende problemen zoals beschreven bij AC-kabels worden hierdoor sterk gedecimeerd. Qua complexiteit, netuitbating en netopbouw is de GIL voor afstanden tot 100 km zeer gelijkaardig aan een luchtlijn. Het kortsluitvermogen zal wel meer stijgen, maar blijft nog steeds onder 63kA.

6.2.1.4 Supergeleiders

6.2.1.4.1 Complexiteit

Net zoals de luchtlijn en de GIL is dit qua netstructuur een eenvoudige oplossing. Vermits de ohmse weerstand van deze kabel zeer laag is, zal wel een seriespoel op het uiteinde van de verbinding moeten worden geplaatst. Dit dient om het vermogen evenwichtig te verdelen over de supergeleider en de parallelle verbindingen.

6.2.1.4.2 Netfenomenen

We hebben op dit moment geen gegevens over de capaciteit van een superconductor, mede door het feit dat deze nog nooit gemaakt is op 380 kV. Vermits deze vooral bepaald wordt door de afstand tussen de geleider en het scherm, is het te verwachten dat die in de buurt ligt van de klassieke AC-kabels. In het ergste geval zal ook hier een tussenstation moeten worden geplaatst.

6.2.1.4.3 Kortsluitstroom

Supergeleiders hebben een verwaarloosbare weerstand en zijn capacitief. De verhoging van de kortsluitstroom zal sterker aanwezig dan bij de AC-kabeloplossing. Maatregelen zullen zeker genomen moeten worden om de kortsluitstroom te beper-

53
De typische waarden voor de AC-luchtlijnen uit onze case liggen nog eens vier keer lager.

ken. Dit kan door zoals bij kabels een spoel in serie te plaatsen met de supergeleider, maar ook om (een deel van) de supergeleider te laten fungeren als *"fault current limiter"*. Het idee hierachter is dat men bij een kortsluiting de supergeleider zijn supergeleidende eigenschappen laat verliezen, zodat deze de kortsluitstroom door de geleider gaat blokkeren.

6.2.1.4.4 Netopbouw

Er zal voldoende vermogen beschikbaar moeten blijven via batterijen of noodgeneratoren om de supergeleider voldoende koud te houden tijdens een stroompanne.

6.2.2 DC-technologie

6.2.2.1 Conversiestations

→ Complexiteit

De conversiestations laten toe om het vermogen volledig te sturen, hetgeen de uitbating van het net kan helpen. Anderzijds moeten de conversiestations actief gestuurd worden. Bijvoorbeeld in het geval van de uitschakeling van een verbinding zal bij AC het vermogen automatisch herverdeeld worden via alternatieve wegen. Een DC-verbinding in het AC-net zal niet automatisch zijn steentje bijdragen, waardoor op AC de alternatieve wegen sneller overbelast kunnen raken en op hun beurt kunnen uitschakelen. Dit kan leiden tot een domino-effect, met een netinstorting tot gevolg. Actieve tussenkomsten zullen daarom nodig zijn bij DC-installaties. Alle gevallen waarbij een manuele actie niet snel genoeg kan uitgevoerd worden, zullen hierbij op voorhand geprogrammeerd moeten worden in de software van de installatie. Hierbij is het risico groot dat niet alle situaties voorzien worden of dat de programmatie niet correct werkt.

Bij LCC gelden er bovendien verscheidene beperkingen bij de uitbating van het net:

- Het LCC-conversiestation kan niet werken bij lage belastingen (10% à 20% van het nominale vermogen). Echter, zoals figuur 2 laat zien, is de belasting in ongeveer 70% van de tijd lager dan 20%.
- Inversiefrequentie van de flux van actief vermogen: de flux van actief vermogen van een LCC-HVDC-station kan alleen omgekeerd worden door de DC-spanningspolariteit om te keren. Als de richting van deze actieve vermogensflux frequenter omgekeerd wordt, zal de apparatuur die zich in het conversiestation bevindt of daarop aangesloten is (bijvoorbeeld het DC-kabelsysteem en de HVDC-transformatoren) sneller verouderen. Daarom moet men voor dit type conversiestation de flux van actief vermogen zo weinig mogelijk omkeren om voortijdige slijtage en/of extra investeringskosten te vermijden. Simulaties tonen echter aan dat voor de beschouwde projecten 500 tot 1000 omkeringen per jaar nodig zijn.
- Het reactief vermogen dat een LCC-conversiestation genereert, varieert sterk met het vermogen dat getransporteerd wordt. Bij een verandering in het actief vermogen, moet ook steeds het reactief vermogen worden bijgestuurd (bv. door middel van het in- of uitschakelen van shuntreactoren of shuntcondensatoren).
- Omdat het net aan beide uiteinden voldoende "sterk" moet zijn[54], is het mogelijk dat sommige werken op het net niet gelijktijdig kunnen plaatsvinden.

54 Het kortsluitvermogen moet doorgaans meer dan twee keer het nominale vermogen van het conversiestation bedragen.

55 VSC-verbinding tussen Frankrijk en Spanje

→ Netfenomenen

Voor beide types dienen, in samenspraak met de constructeur, verscheidene simulaties uitgevoerd te worden, zoals:

- Een stabiliteitsstudie om de interactie met het net te bestuderen.
- Een studie rond laagfrequente harmonischen, namelijk indien er een gemeenschappelijke frequentie optreedt met de generator van een naburige productie-eenheid kan de as van deze generator beschadigd raken.
- De interactie met andere vermogenselektronica (zoals andere conversiestations, Statcoms en de convertoren in windturbines) moet bestudeerd worden om te vermijden dat één van beide ontijdig zou uitschakelen.

De oplossing hiervoor is meestal een aanpassing in de programmatie van de sturing van de conversiestations.

Specifiek voor VSC moet er een studie gemaakt worden rond hoogfrequente resonantie (rond de schakelfrequenties van de IGBT's). Bij het project Enelfe[55] heeft men bijvoorbeeld ondervonden dat de conversiestations bij sommige nettopologieën uitschakelen wegens deze resonanties.

Bij de LCC-conversiestations is de output geen mooie 50Hz sinus. Aan AC-zijde worden voor LCC-conversiestations veel meer harmonischen gegenereerd dan voor VSC-Conversiestations. Daarom zijn kant AC verscheidene filters noodzakelijk.

→ Korstluitvermogen

Zowel VSC als LCC dragen slechts beperkt bij tot het kortsluitvermogen en scoren op dit punt beter dan AC. Bovendien kunnen VSC het net ondersteunen tijdens de kortsluiting.

→ Netopbouw

Dit is geen probleem voor VSC. Meer zelfs, VSC kan hier een ondersteunende rol spelen.

Zoals eerder besproken is voor de werking van een LCC-conversiestation de ondersteuning van een voldoende "sterk" AC-net nodig. Netopbouw is niet mogelijk via deze technologie. Eerst moeten de netten aan beide uiteinden voldoende worden hersteld eer de LCC-verbinding weer in dienst genomen kan worden.

6.2.2.2 Verbinding

Welke technologie op DC wordt gebruikt tussen de conversiestations heeft weinig impact op de netuitbating, zolang we nog niet spreken over grote DC-netten. Het begrip reactieve energie bestaat niet op DC en de gekozen DC-technologie heeft geen invloed aan de AC-zijde van de convertoren.

6.2.3 Conclusie

De netuitbating van zowel de 380 kV- als de 220 kV-AC-kabel oplossing is zeer complex, wat haaks staat op de nood om een flexibel net te ontwikkelen, gezien de context van een energietransitie die op zich al een grote complexiteit toevoegt. Bovendien zijn de risico's gebonden aan resonanties voor beide spanningsniveaus onaanvaardbaar hoog.

Betreffende DC voldoet LCC voor onze toepassing niet aan de minimale eisen voor de uitbating van het net. Netopbouw is niet mogelijk en bij de uitbating van het net zijn er heel wat beperkingen. VSC scoort goed op vlak van kortsluitvermogen en netopbouw, maar heeft zijn risico's door de actieve sturing en de mogelijke resonanties.

De AC-luchtlijn en in tweede instantie de AC-GIL scoren op alle deelaspecten matig tot goed en zijn daarom te prefereren voor dit criterium.

6.3. MATURITEIT

6.3.1 AC-technologie

6.3.1.1 Luchtlijn

De technische maturiteit van de klassieke vakwerkmasten en van geleiders is zeer hoog gezien deze al meer dan 100 jaar op grote schaal in Europa en in de wereld gebruikt worden. Enkel in België bezit Elia meer dan 22.000 masten en 5.560 km luchtlijnen. Aangezien luchtlijnen en stalen profielen voor masten in zulke grote hoeveelheden gebruikt worden, zijn deze over de jaren heen reeds gestandaardiseerd in Europese normen.

Zowel voor masten als voor luchtgeleiders zijn er een groot aantal producenten gekwalificeerd voor de Belgische energiemarkt, zodat door de uitgebreide concurrentie de kwaliteit hoog ligt en de prijs laag blijft.

6.3.1.2 Kabel

XLPE geïsoleerde kabelverbindingen – de huidige standaardtechniek – bestaan ongeveer 20 jaar. Kinderziekten voor het isolatiemedium XLPE, ook op 380 kV-niveau, zijn overwonnen, en het is nu wereldwijd het meest gebruikte isolatiemateriaal in nieuwe kabelverbindingen. Er zijn diverse fabrikanten die dit soort kabelsystemen leveren aan de markt en deze worden wereldwijd toegepast. Er is een toenemende mate van ervaring met XLPE-kabelsystemen voor de hogere spanningen.

Echter, zoals reeds beschreven in paragraaf 6.2.2, is er op 380 kV geen enkele ervaring voor trajecten boven 50 km en/of 6 parallelle circuits. Op dit moment weten we nog niet hoe dit materiaal zich zal gedragen en kunnen we dus nog niet garanderen dat zoiets feilloos zal werken.

Ook is er geen enkele ervaring om 220 kV kabelverbindingen te gebruiken in een vermaasd 380 kV-net.

6.3.1.3 GIL

Wereldwijd werden nog geen GIL-trajecten over grote lengte aangelegd. De lengte bedraagt doorgaans enkele honderden meters en in een paar uitzonderingsgevallen een paar kilometers. De meeste van deze gevallen zijn zeer specifieke toepassingen, zoals bijvoorbeeld tunnels.

Door het gebrek aan internationale ervaringen met lange *Gas Insulated Lines* (GIL's) moeten we sommige aspecten, zoals herstellingen, lekdetectie, koeling en gasdynamica, zorgvuldig onderzoeken.

Bovendien bestaat er momenteel maar één fabrikant, Siemens, die tot op heden een 380 kV GIL[56]-oplossing als commercieel product ontwikkeld heeft. Dit beperkt de know-how en maturiteit van deze technologie.

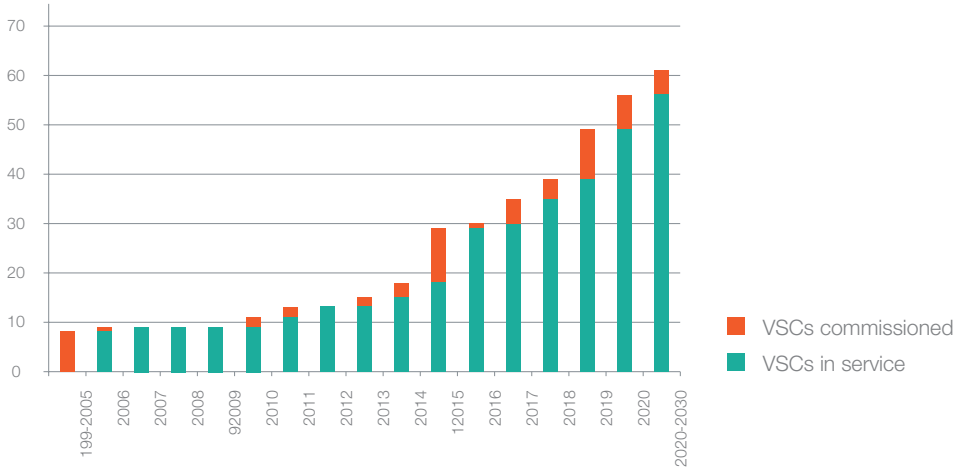
6.3.1.4 Supergeleiders

Momenteel is er wereldwijd geen ervaring met 380 kV-supergeleiders, zelfs niet in laboratoria.

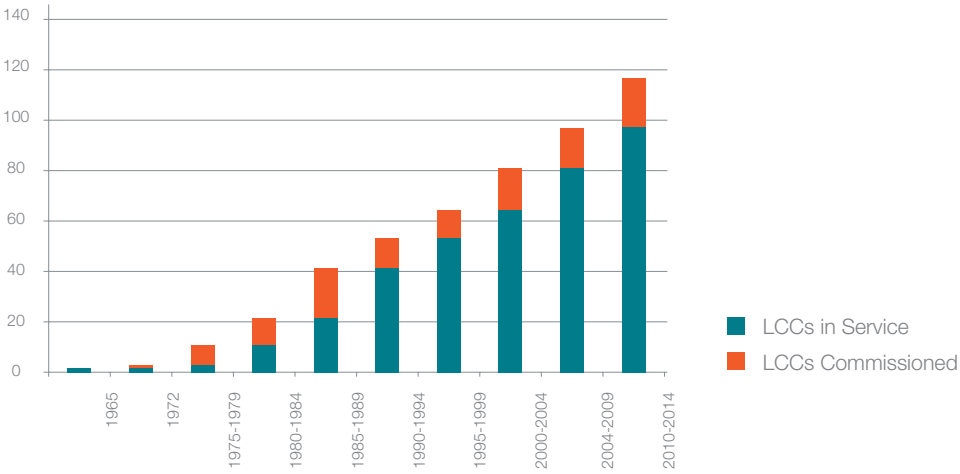
Volgens inschattingen van experts zal het naar schatting nog vijf jaar duren voordat deze technologie beschikbaar is voor het eerste proefproject (bij voorkeur een minder belangrijke koppeling over korte afstand) en nog minstens tien jaar voordat we deze technologie als aanvaardbaar alternatief beschouwd kan worden voor een verbinding met de karakteristieken van de projecten die hier in beschouwing worden genomen, weliswaar nog steeds met alle risico's van een product met een lage maturiteit.

56 Zoals beschreven in hoofdstuk 4 nemen we hier enkel systemen met gelaste buizen in beschouwing.

57 Zhangbei-project China.



→ **Figuur 29**
Evolutie van de in gebruik zijnde VSC-HVDC-systemen[58]



→ **Figuur 30**
Evolutie van de in gebruik zijnde LCC-HVDC-systemen[59]

6.3.2 DC-technologie

6.3.2.1 Conversiestations

De maturiteit van de LCC-HVDC-technologie kan als voldoende beschouwd worden. Deze technologie is immers al ruim 40 jaar beschikbaar op de markt en werd tot op heden in meer dan 100 projecten over de hele wereld toegepast.

De technologie van de VSC-HVDC-systemen werd een vijftiental jaar geleden ontwikkeld en is dus recenter. Tot op heden werd een relatief klein aantal projecten (een dertigtal) hiermee uitgevoerd en het eerste 3GW-, 500 kV-project is nog maar net gegund[60]. Deze technologie kan dus als minder matuur worden beschouwd. Rekening houdend met de snelle ontwikkeling van deze technologie en wetende dat veel R&D in deze technologie wordt gestoken, kunnen we aannemen dat deze technologie klaar zal zijn om gebruikt te worden in de beschreven projecten.

De volgende figuren geven voor elke technologie een overzicht van het verloop van de spannings- en vermogensniveaus van de uitgevoerde, lopende en geplande projecten.

6.3.2.2 Luchtlijn

Gezien de technologie voor AC-luchtlijnen en DC-luchtlijnen quasi identiek is, met als enige verschil het aantal fasen en de vereiste veiligheidsafstanden, kan er hier geconcludeerd worden dat deze technologie eveneens zeer matuur is. Men gebruikt dezelfde genormeerde stalen profielen en geleiders als bij de AC-luchtlijnen.

Wereldwijd zijn er reeds verschillende HVDC-luchtlijnen gebouwd voor het trans-

58
Referentie: VSC-HVDC Newsletter 25/05/2018 – VSC-HVDC Project List.

59
Referentie: IEEE – HVDC Projects Listing.

60
Fabrikant: NKT

port van elektriciteit over lange afstanden (zelfs meer dan 1000 km), met karakteristieken die voldoen aan de beschreven projecten, zodat de ervaringsterugkeer van deze andere projecten vlot beschikbaar is.

6.3.2.3 Kabel

MI-kabels is een oude (en beproefde) technologie die vroeger ook voor AC-kabels werd gebruikt. Bij de eerste generatie DC-kabelverbindingen die hoofdzakelijk gebruikt werden voor offshore (LCC) kabelverbindingen werd ook uitsluitend dit type kabels gebruikt. Zoals in paragraaf Bestudeerde technologieën beschreven, zijn enkel XLPE-kabels realistisch voor de beschreven projecten.

De eerste XLPE DC-kabels zijn ontwikkeld geweest voor VSC-technologie. De eerste toepassing hiervan dateert van 1999 voor een ±80 kV DC-kabel in Gotland. Slechts zeer recent hebben verscheidene leveranciers ook kabels tot ±500 kV ontwikkeld. We hebben zelfs één leverancier gevonden met een kabel 640 kV[54]. Geen enkele kabel is echter al geplaatst op dit spanningsniveau.

Voor de LCC-technologie heeft op dit moment slecht één enkele leverancier[61] een geschikte XLPE-kabel. Slechts één enkel project (op ±250 kV) werd tot hiertoe uitgevoerd[62].

Het spreekt vanzelf dat er nog weinig gekend is over het gedrag van deze kabels op lange termijn.

6.3.2.4 GIL

Deze technologie is nog niet op de markt en zelfs als deze binnenkort op de markt zou komen, zal nog eerst minstens één pilootproject uitgevoerd moeten worden, alvorens we dit op grote projecten kunnen toepassen. We gaan ervan uit dat deze technologie nog niet beschikbaar zal zijn voor onze projecten.

6.3.2.5 Supergeleiders

Een eerste testlus (30m) ±320 kV is recent gebouwd geweest in het kader van het Best Paths project. Net zoals voor AC kan er voor DC-supergeleiders geconcludeerd worden dat deze technologie niet voldoende matuur is voor een commerciële implementatie binnen 5 jaar. Aangezien het gebruik van supergeleiders nog erg experimenteel is en er nog geen grootschalige installatie bestaat die bewijst dat langere afstanden eveneens haalbaar zijn, wordt deze technologie als ongeschikt gezien voor de beschouwde use case.

6.3.3 Conclusie

Supergeleiding en DC-GIL zitten nog in een R&D-fase en zijn dus nog niet klaar op te gebruiken in de beschouwde projecten.

Wat AC-kabels betreft, bestaat er al enige ervaring maar vooral op lagere spanningen, lagere vermogens en kortere afstanden. Er is geen enkele referentie die in de buurt komt van onze toepassing (6GW over 75 km binnen een vermaasd net). Bij GIL is de ervaring zelfs beperkt tot een beperkt aantal korte afstanden en tot één enkele leverancier. Door het gebrek aan ervaring is het niet opportuun om deze technologie voor lange aftanden in te zetten in de Belgische backbone.

Uitgezonderd LCC in combinatie met XLPE-kabels, is er reeds enige ervaring in DC-lijnen en DC-kabels. AC-luchtlijnen zijn echter met voorsprong het meest matuur.

61 Fabrikant: SEI (voormalig J-Power).

62 Hokkaido-Honshu DC link in Japan.

6.4 AFTAKKINGEN

6.4.1 AC-technologie

Indien er meerdere aftakkingen nodig zijn, wensen we deze afzonderlijk te beveiligen om bij een fout de gevolgen te kunnen beperken. Hiervoor dient in één van de aftakpunten een onderstation met vermogensschakelaars geplaatst te worden. Indien slechts één aftakpunt nodig is naar het onderliggende net, kan men ook opteren om een “T”-connectie te maken in de verbinding. In de volgende paragrafen worden deze “T”-connecties bekeken voor de verschillende technologieën.

6.4.1.1 Luchtlijn

Luchtlijnen zijn uiterst geschikt om aftakkingen te maken. Hierdoor is de oplossing *future proof* omdat op eenvoudige wijze nieuwe lokale ontwikkelingen of productie-eenheden kunnen worden aangesloten. Een bestaande mast kan aangepast of vervangen worden om een aftakking toe te laten, waarna het aankoppelen van een extra lijn eenvoudig uitgevoerd kan worden.

6.4.1.2 Kabel

Ondergrondse hoogspanningskabels zijn niet geschikt om ondergronds aftakkingen te maken. Men kan wel eenvoudig bovengronds komen met kabeleindsluitingen om zo met klassieke luchtgeïsoleerde verbindingen een aftakking te realiseren. Hierdoor is de oplossing *future proof* omdat op redelijk eenvoudige wijze nieuwe lokale ontwikkelingen of productie-eenheden kunnen worden aangesloten. Er is wel een beperkt terrein (< 0,5 ha) nodig.

6.4.1.3 GIL

De GIL is geschikt om ondergrondse aftakkingen te maken. De technologie laat toe om bijvoorbeeld T-stukken te plaatsen op de buizen om een zijtak te creëren. Hierdoor is de oplossing *future proof* omdat op eenvoudige wijze nieuwe lokale ontwikkelingen of productie-eenheden kunnen worden aangesloten.

6.4.1.4 Supergeleiders

Net zoals bij ondergrondse kabels is deze technologie niet geschikt om ondergronds aftakkingen te maken, maar is dit bovengronds eenvoudig mogelijk. Hierdoor is de oplossing *future proof*, omdat op redelijk eenvoudige wijze nieuwe lokale ontwikkelingen of productie-eenheden kunnen worden aangesloten.

6.4.2 DC-technologie

Op het aftakpunt zelf hebben DC-oplossingen dezelfde impact als hun overeenkomstige AC-oplossingen. In DC zal er echter op het uiteinde van elke aftakking een conversiestation moeten geplaatst worden. We spreken in dit geval over een multiterminal.

6.4.2.1 VSC

Multi-terminals zijn recent ontwikkeld en slechts twee projecten[63] zijn reeds volledig in dienst. De extra complexiteit bestaat in de coördinatie tussen de verschillende terminals. Bij een gewone “point-to-point”-verbinding wordt de DC-spanning van één van de twee conversiestations (slave) gefixeerd. Het andere conversiestation (master) kan dan eenvoudig het vermogen regelen door zijn DC-spanning een beetje te laten stijgen of dalen. Er is dus geen coordinatie nodig tussen de twee stations. Bij multi-terminals moet er afstemming gebeuren tussen de verschillende onderstations. Verscheidene leveranciers claimen dat ze in staat zijn om multi-terminals te bouwen. Er zijn echter nog geen internationale normen. Dit betekent dat als men in de toekomst een extra aftakking nodig zouden hebben, men gebonden is aan de originele leverancier.

63
Zhoushan- en Nanoa-project, beide in China.

Indien er meerdere aftakkingen gewenst zijn, dient net als bij AC in één van de aftakpunten een onderstation met vermogensschakelaars geplaatst te worden. Bij DC zijn er twee mogelijkheden:

- meerdere conversiestations bouwen om dan een klassiek AC-onderstation te plaatsen.
- Een onderstation in DC. De vermogensschakelaars in DC staan echter nog in hun kinderschoenen en er zijn op dit moment geen internationale normen voor DC netwerken. Deze tweede mogelijkheid beschouwen we daarom als niet relevant voor de beschouwde use case.

Ook dient opgemerkt te worden dat de grootte (oppervlakte en hoogte) en de kostprijs van een aftakconversiestation groter is dan een "point-to-point" conversiestation van hetzelfde vermogen. Aftakkingen naar het onderliggende net vereisen meestal maar een beperkt vermogen[64] ten opzichte van een 2x3GW verbinding. Bij lagere vermogens zijn lagere spanningen meer opportuun. De spanning van het systeem ligt echter vast bij een aftakking. Hogere spanningen leiden tot grotere afstanden tussen onder spanning staande delen (isolatie gebeurt bij veel onderdelen van een conversiestation door lucht) en dus grotere afmetingen van de installaties, hetgeen op zijn beurt ook een invloed heeft op de prijs.

We kunnen concluderen dat een VSC-multi-terminal op dit moment technisch kan, maar dat er nog veel minpunten zijn:

- Maturiteit nog zeer laag;
- Zonder standaarden weinig tot geen flexibiliteit naar de toekomst mogelijk is;
- Grote installatie nodig (vergeleken met AC-oplossingen);
- DC-onderstations bestaan nog niet, waardoor het aantal aftakkingen beperkt wordt tot één of maximum twee;
- Zeer duur (vergeleken met AC-oplossingen).

6.4.2.2 LCC

Zoals in hoofdstuk Conversiestations beschreven moet de spanning worden omgepoold als als het gevraagde vermogen van richting verandert. Er bestaan wereldwijd een aantal LCC-multi-terminals maar hierbij wordt op voorhand vastgelegd of het vermogen van AC naar DC vloeit of omgekeerd. Hierdoor is een ompoling niet nodig of wordt het enkel als back-up gebruikt.

Onze verbindingen zijn echter bedoeld voor een vermaasd net. Het vermogen moet hierbij in alle richtingen kunnen vloeien. Om geen kortsluiting te veroorzaken moeten daarom DC-schakelstations worden geplaatst. Tijdens de schakelingen moet het betrokken conversiestation afgeschakeld worden, wat in sommige situaties niet toelaatbaar is. Ook kunnen problemen bij het schakelen tot kortsluitingen leiden. Om deze redenen zijn LCC-multi-terminals niet geschikt voor onze toepassing.

6.4.3 Conclusie

LCC is niet geschikt voor aftakkingen in een vermaasd net. Met VSC-technologie is dit technisch wel mogelijk, maar dit staat nog in zijn kinderschoenen. Bovendien is het duur, zijn er grote oppervlaktes nodig en bij gebrek aan een standaard is er geen flexibiliteit voor toekomstige uitbreidingen.

In AC zijn aftakkingen daarentegen zeer eenvoudig. Enkel bij kabels is een beperkte bovengrondse installatie nodig.

64 Elia hanteert bijvoorbeeld 555MVA als standaard vermogen voor een injectie van het 380kV-net naar het 150kV-net.

6.5 OPPORTUNITEITEN

6.5.1 AC-technologie

6.5.1.1 Luchtlijn

De maximum capaciteit van een luchtlijn is afhankelijk van de mogelijkheid tot koeling. De meeste geleiders mogen niet warmer worden dan 75°C, dit is ook vastgelegd in het AREI (hogere temperaturen, zoals bij HTLS of bij het gebruik van steunkabels zijn mogelijk, maar hiervoor moet een uitzondering aangevraagd en goedgekeurd worden). Als de temperatuur verder zou stijgen, zouden de geleiders te veel uitzetten, waardoor de wettelijk te respecteren grondafstanden niet meer voldaan zijn. Daarom wordt de maximale toegelaten doorhang berekend voor een windstille, zonnige zomerdag.

Op een winderige, bewolkte en/of koude dagen is de koeling beter en kan meer vermogen getransporteerd worden. Elia laat daarom in de winter standaard 10% meer capaciteit toe. Er zijn ook systemen die de temperatuur gaan opvolgen, zoals bijvoorbeeld Ampacimon[65], die de doorhang kunnen meten[66] en zo onrechtstreeks de temperatuur kunnen berekenen. Hiermee zijn tijdelijke overbelastingen mogelijk van 30% tot 50% bij gunstige weersomstandigheden[67].

6.5.1.2 Kabel

Ondergrondse kabels kunnen door trage opwarming van de omliggende grond gedurende lange tijd (uren tot dagen) een overbelasting aan. Via glasvezels die geïntegreerd worden in de kabelmantel kan de temperatuur, en dus de overbelasting, zeer nauwkeurig opgevolgd worden. Elia heeft dit glasvezel-controlesysteem reeds enkele jaren operationeel op de 150 kV-kabel tussen Koksijde en Oostende. Bij een belasting van 75% van het nominaal vermogen is gedurende 4 uur een overbelasting van bijna 70% en gedurende 36 uur een overbelasting van 20% mogelijk. Men kan echter de overbelasting niet blijven hanteren, aangezien de warmteverliezen zo verder blijven oplopen en de efficiëntie voor het transport van elektriciteit daalt. Het uitbaten op de limieten van de kabel leidt bovendien tot een snellere veroudering van de kabel.

6.5.1.3 GIL

In onze case maken we reeds gebruik van de overbelastingsmogelijkheden van de GIL (standaard slechts 4000A). Als we de volledige overbelastingsmogelijkheid (tot 5000A) benutten, kunnen we de maximale transportcapaciteit met 5% verhogen (tot 3,46 GVA).

6.5.1.4 Supergeleiders

Supergeleidende kabels kunnen ook functioneren als foutstroombegrenzer in het net omdat in geval van overstroom de weerstand snel toeneemt. Als de stroom te snel stijgt, zal de supergeleiding verdwijnen en zal de weerstand plots sterk stijgen. Hierdoor zal de stroom sterk afgeremd worden. Dit zorgt ervoor dat bij een foutstroom er een ‘rem’ komt op een stroom. Omdat een supergeleider zich echter nog in een experimentele fase bevindt, is dit praktisch nog niet uitgevoerd.

6.5.2 DC-technologie

→ Overbelasting

Vermits de conversiestations nauwelijks overbelastbaar zijn, gelden de overbelastingen bij de verschillende AC-technologieën niet voor de equivalente DC-technologieën.

65 www.ampacimon.com

66 Aan de hand van de trillingen en staande golven in de geleiders.

67 Op voorwaarde dat ook de schakelvelden dit toelaten.

→ Sturen van fluxen

Bij conversiestation kan, binnen de limieten van het station bepaald worden hoeveel vermogen er passeert en in welke richting. Hiermee kunnen soms congesties elders in het net vermeden worden. Bij AC kan deze sturing in beperktere mate ook door het plaatsen van zogenaamde “Phase Shifting Transformers” (PST’s).

→ Reactief vermogen (enkel VSC)

Een VSC-conversiestation kan reactief vermogen injecteren of absorberen op het aansluitpunt van de installatie (typisch tot 30% van het nominaal vermogen). Het actief vermogen wordt hierbij wel beperkt met enkele procenten. Hierdoor zouden spanningsregelende middelen (shuntreactoren, condensatorbanken, static var compensator,…) uitgespaard kunnen worden indien ze nodig zouden zijn op die plaats. Opmerking: er is in de nabije toekomst nood aan meer spanningsregelende middelen. De timing van de projecten beschreven in hoofdstuk 3 komt echter te laat om aan deze nood tegemoet te kunnen komen.

→ Actieve filter (enkel VSC)

De VSC kan ook opereren als actieve filter (type Statcom) indien dit nodig is op de plaats van het conversiestation. Op dit moment zijn er echter geen noden gekend.

6.6 CONCLUSIE

Voor onze use-case is een verbinding met een capaciteit van 6GW en een lengte van 50 à 100km nodig. Bij dergelijke vermogens is het zeer belangrijk dat deze verbinding functioneert, een hoge beschikbaarheid heeft, een positieve impact heeft op de netuitbating en zeker geen nieuwe (onbeheersbare) risico's introduceert, betrouwbaar is en dus voldoet aan de criteria die vooropgesteld worden.

Voor de **AC- en DC-supergeleiders** en de **DC-GIL** stellen we vast dat deze nog **niet** voldoende **matuur** zijn. Het onderzoek op laboschaal is nog lopende en/of er werden hooguit nog maar enkele pilootprojecten op lagere spanning en met kleinere capaciteit verwezenlijkt. Door de beperkte maturiteit is het dan ook quasi onmogelijk om te oordelen over de beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Deze technologieën zijn nog ver van rijp voor de beschouwde use case en zullen ook in de verdere vergelijking niet meer worden bestudeerd.

Ondanks de beperkte kennis over de **AC-GIL**, verwachten we dat faalkans van deze technologie aanvaardbaar kan zijn, maar dat de onbeschikbaarheid niettemin zeer lang kan zijn bij incidenten. De impact op het net is positief en aftakkingen zijn eenvoudig te realiseren. De maturiteit is echter nog zeer laag: er is slecht één enkele leverancier en verbindingen van de opgegeven afstand zijn nog nooit gerealiseerd. Hierdoor achten we AC-GIL niet geschikt voor het gebruik binnen de use cases.

Wat betreft de AC-kabel kan er niet gegarandeerd worden dat deze technisch realiseerbaar is voor de use-case. De combinatie van kabels en shuntreactoren zorgt voor fenomenen (zoals harmonische frequenties en transiënten) die optreden in het systeem en de stabiliteit van het net in gevaar kunnen brengen. Verbindingen van dergelijke afstanden en vermogens in AC-kabel werden nog niet gerealiseerd, waardoor deze fenomenen moeilijk ingeschat kunnen worden. Vermits deze verbinding deel zal uitmaken van onze backbone zijn dermate risico's voor de veilige netuitbating niet aanvaardbaar. Bovendien zijn de hersteltijden langer dan bij een luchtlijn.

De AC-kabel is niet technisch haalbaar voor de opgegeven afstanden, maar wordt in de vergelijking verder wel meegenomen omdat deze eventueel toepasbaar kan zijn op kleinere afstanden. Het Stevin-project heeft een AC-kabel maar deze is maar 10km lang en heeft een beperkter vermogen.

In DC kunnen we concluderen dat LCC-technologie moeilijk inpasbaar is in een vermaasd net en voor de use-case niet voldoet aan de noden.. De betrouwbaarheid ligt lager, er zijn teveel beperkingen op vlak van netuitbating en aftakkingen zijn quasi niet mogelijk.

VSC-conversiestations in combinatie met de DC-luchtlijn en -kabel zijn technisch mogelijk. Ook in andere projecten zoals Alegro en SudOstLink werd dit gerealiseerd. Bij Alegro was het belang van de stuurbaarheid bij interconnecties van belang en bij SudOstLink is er een zeer grote afstand te overbruggen. De karakteristieken van de use-case zijn echter anders en hierdoor is de technologie te beperkend:

- Bij het uitvallen van een parallelle AC-verbinding wordt het vermogen niet automatisch herverdeeld over de DC-verbinding. De vermogensstromen over een DC-verbinding moeten namelijk actief gestuurd worden. Een slechte werking hiervan kan leiden tot overbelastingen in het net en eventueel zelfs tot netinstortingen.
- Verschillende resonanties moeten onderzocht worden. Er is echter nog weinig kennis hoe verschillende installatie met vermogen elektronica (zoals een conversiestation) met elkaar reageren en de bijhorende gevolgen naar resonanties.

- Er is steeds een **conversiestation** nodig en wanneer er een **aftakking** (bijkomend injectiepunt) gerealiseerd wordt naar het onderliggende net is opnieuw een **bijkomend conversiestation** nodig. Dergelijke multiterminal convertor heeft een zeer lage maturiteit. Ook is er op dit moment geen standaardisatie waardoor er weinig tot geen flexibiliteit is naar de toekomst toe.
- Door het hoog aantal jaarlijkse falingen is de betrouwbaarheid beperkt.

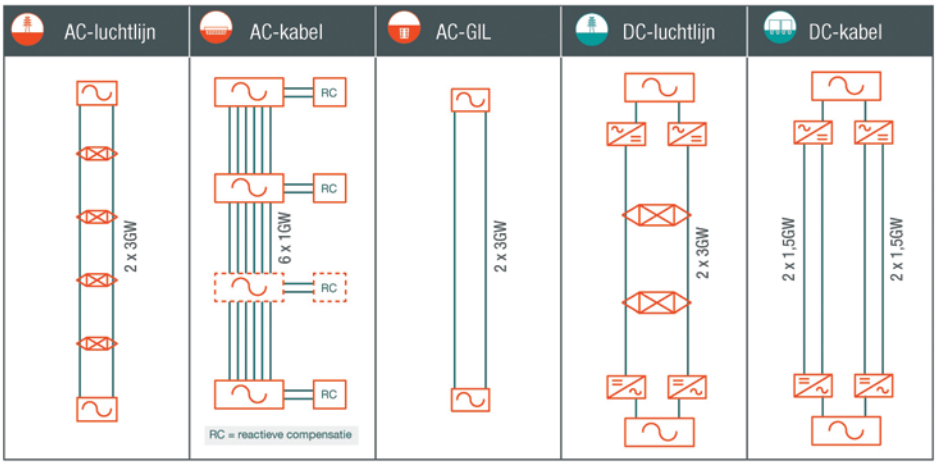
De **AC-luchtlijn** is een **gekende technologie** die wereldwijd al verschillende decennia wordt gebruikt en dus een **hoge maturiteit** heeft. Vermits het Belgische hoogspanningsnet voornamelijk uit deze technologie bestaat is het integreren van een bijkomende verbinding relatief eenvoudig te realiseren. Bovendien hebben deze verbindingen een goede **betrouwbaarheid** en **beschikbaarheid**. Verder zijn **aftakkingen zeer eenvoudig te realiseren** wat resulteert in een hoge flexibiliteit naar de toekomst. Technisch is de AC-luchtlijn veruit de beste oplossing voor onze use-case.

Indien een beperkte sturing nodig is zullen wel PST's moeten geplaatst worden in één van beide uiteinden. Dit zal de complexiteit enigszins verhogen, maar dit blijft aanvaardbaar en het aantal faling licht doen stijgen, maar dit blijft veel lager dan de andere technologieën.

Volgende figuur geeft schematisch de technologieën met hun specifieke configuratie weer. Een aantal niet-geschikte technologieën nemen we verder mee in de analyse voor de volledigheid van de studie. Enkel VSC-technologie zal nog bestudeerd worden voor de DC-varianten. Ook volgende subvarianten worden nog meegenomen:

- AC-kabels op 220 kV in plaats an 380 kV;
- DC-convertoren 1,5GW in plaats van 3GW.

Merk op dat het niet mogelijk is om een AC-kabel te plaatsen over de volledige lengte van het traject. We nemen de optie AC-kabel echter verder in deze studie mee als toepassing op korte deeltrajecten.



→ **Figuur 31**
Vergelijking van technologieën

VII

Economische analyse

7.1 | Investeringskost
7.1.1 | Basisveronderstellingen AC-technologie
7.1.2 | Basisveronderstellingen DC-technologie
7.1.3 | Conclusie
7.2 | Jaarlijksekost: netverliezen & onderhoudskost
7.2.1 | AC-technologie
7.2.2 | DC-technologie
7.3 | Totale annuïteit

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

VII Economische analyse

7.1 INVESTERINGSKOST

7.1.1 Basisveronderstellingen AC-technologie

7.1.1.1 Eindstations

We gaan ervan uit dat de eindstations reeds bestaan en op 380kV worden uitgebaat. We bekijken hier dus enkel de kost van de uitbreiding. Op basis van verscheidene Elia-projecten komen we uit op een prijs van 1,3M€[68] per aansluitveld. Zo'n aansluitveld is vereist aan beide uiteinden van elk circuit.

Soms is sturing van de fluxen gewenst. Bij AC kan dit bereikt worden door Phase Shifting Transformers (PST's) te plaatsen in de eindstations. Hier kunnen we terugvallen op projecten op de noordgrens waar Elia deze installaties al heeft geplaatst. Afgaande op die projecten komen we uit op een prijs van 70M€ voor 6GW aan PSTs plus het schakelstation nodig om deze te beveiligen.

We verwachten hier geen grote prijsevoluties voor de komende 5 jaar.

7.1.1.2 Luchtlijn

In het Stevin-project kostte het gedeelte van de verbinding in nieuwe luchtlijn 380kV (zelfde vermogen) 1,8M€/km.

Indien we veronderstellen dat we voor de nieuwe te realiseren verbindingen binnen de Ventilus en Avelgem-centrum gebruik maken van dezelfde technologie als bij Stevin (type geleider en mast) kunnen we het Stevin-project per km als referentie nemen. Uiteraard kan dit nog afwijken indien er bv. meer of minder hoekmasten[69] geplaatst moeten worden, maar er is niets dat erop wijst dat Stevin qua prijs een uitzonderlijk project was.

Buiten beperkte schommelingen van de staal- en aluminiumprijzen, verwachten we geen grote prijsevoluties bij luchtlijnen.

7.1.1.3 Kabel

In het Stevin-project was de kost per circuit 380kV (dus voor 1GW) 1,9M€/km. Hierin zitten zowel de kabel, de grondwerken, de plaatsing van de kabel als het herstellen van het terrein. Op het traject van Stevin is er ook een tunnel geplaatst, maar deze kosten bekijken we in de volgende paragraaf. Opmerking: op het moment van de aankoop van de kabels waren de metaalkoersen laag.

Vermits we op 220kV dezelfde plaatsingswijze hebben voorzien als op 380kV is de kost voor de plaatsing per circuit gelijk. Door de kost van de kabel 380kV te vervangen door deze van een kabel 220kV komen we op 1,25M€/km per circuit 220kV.

Het is moeilijk te voorspellen hoe deze kosten de volgende 5 jaar zullen evolueren.

- Kabels 380kV en hun toebehoren (verbindingsmoffen, eindsluitingen…) worden nog niet in grote oplages besteld. Hier valt een beperkte reductie te verwachten door de aankoop van grote volumes.
- De productiecapaciteit is momenteel nog beperkt. Indien er ook andere grote AC- of DC-kabelprojecten[70] komen, zal deze capaciteit snel verzadigen en kunnen de kosten snel stijgen. In het geval dat beide projecten beschreven in hoofdstuk 3 volledig in AC-kabel worden uitgevoerd[71], zal ook het lanceren van beide projecten de prijzen sterk doen stijgen. Er zijn namelijk 18 kabels x 150km = 2700km kabel nodig. Een productielijn kan jaarlijks maar 100 tot

68
1M€ = 1 miljoen euro

69
Zie figuur 7, pagina 30

70
De meeste productielijnen kunnen zowel AC- als DC-landkabels maken. Grote projecten van het ene zullen ook de prijzen van het andere type beïnvloeden.

71
Fictief geval want reeds technisch uitgesloten.

	Shuntreactor (M€)	Aansluitveld (M€)
Shuntreactor 380kV 130Mvar	4,1	1,3
Shuntreactor 220kV 130Mvar	3,0	0,6

→ **Tabel 4** Kostprijzen van shuntreactoren

enkele 100'den kilometers kabel produceren en met onze beschikbare informatie schatten we dat er wereldwijd slechts 20 à 30 geschikte productielijnen zijn. We komen uit dat ruwweg een half jaar productiecapaciteit van de volledige wereldproductie nodig zal zijn, enkel voor onze projecten.

- Ongeveer de helft van de investeringskost wordt bepaald door de aankoopprijs van het koper en deze schommelt sterk.

7.1.1.3.1 Tunnel

Hoe dieper een kabel wordt geplaatst, hoe minder goed hij zijn overtollige warmte kan afvoeren en hoe minder vermogen door de kabel kan passeren. Omdat we op de limiet van de transportcapaciteit van de kabels zitten, kunnen we dus geen diepe boringen uitvoeren onder diepe obstakels (bv. rivieren of kanalen). In dit geval zal een tunnel moeten gegraven worden. In het Stevin-project was de kost voor een tunnel van 230m met 2 afzonderlijke kokers 10M€. Dit was voor slechts 4 kabelcircuits. Voor onze analyse veronderstellen we een meerkost van 25% voor 6 kabelverbindingen en 50% voor 10 kabelverbindingen.

7.1.1.3.2 Reactieve compensatie

Zoals eerder beschreven dienen er bij een lange ondergrondse verbinding aanzienlijk wat shuntreactoren geplaatst te worden. Deze shuntreactoren hebben uiteraard een kostprijs.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het aantal constructeurs die deze shuntreactoren kunnen maken met een "laag" geluidsvermogen beperkt zijn en we verwachten dat de vraag naar shuntreactoren in Europa in de toekomst zal toenemen omwille van de offshore kabelnetwerken. Ook hier bestaat een risico tot verzadiging van de productie met prijsstijgingen tot gevolg.

In de prijsberekening gaan we ervan uit dat we op 380kV 42 shuntreactoren 130Mvar plaatsen en op 220kV 25 shuntreactoren 130Mvar, telkens met elk hun eigen aansluitveld.

7.1.1.3.3 Tussenstations

Indien er tussenstations 380kV nodig zijn voor de reactieve compensatie, rekenen we een basisprijs van 20M€ per tussenstation. Dit is inclusief bouwkundige werken, de schakelvelden voor de kabels, een koppelveld en beveiligingen, maar exclusief de reactieve compensatie. In de berekening hebben we verder rekening gehouden met de best case en hebben we gerekend met slechts één enkel tussenstation op een traject van 75km. Zoals eerder geschreven kunnen dit er ook twee zijn.

Op 220kV gaan we uit van de hypothese dat we zonder tussenstation kunnen werken (best case). Indien er wel een tussenstation nodig is, zal dit tussenstation goedkoper zijn als op 380kV. Dit komt vooral omdat het materieel op 220kV goedkoper is. Anderzijds zijn er wel meer kabelvelden nodig, waardoor de basisprijs rond 15M€ zal schommelen (ook exclusief reactieve compensatie).

→ **Tabel 5**
Samenstelling Capex GIL

Samenstelling capex GIL	Prijs/km (M€)
2 sets GIL voor tunnel	9,4
Tunnel (prefab in open sleuf) voor 2 sets GIL	3,5
Koeling	0,2
Surplus voor geboorde tunnels (één tunnel aan 10M€ per 10 km)	1
Onvoorziene (10%)	1,4
Totaal	**15,5**

7.1.1.3.4 Transformatie naar 220kV

Om kabels 220kV te kunnen gebruiken moeten er op de uiteinden transformatoren 380/220kV geplaatst worden. In het Stevin-project hebben de 4 transformatoren 380/220kV, inclusief schakelvelden, in totaal 22M€ gekost. De transformatie in Stevin was goed voor 2,4GVA. We hebben nu 6 MW (6,6GVA) nodig, ofwel 11 transformatoren 380/220kV, hetgeen een budget van ongeveer 60M€ aan elk uiteinde vertegenwoordigt.

Indien er PSTs nodig zijn, kan ook de functie van de transformator en PST gecombineerd worden in één toestel. Dit geeft een meerkost van 20M€.

7.1.1.4 GIL

Tabel 5 geeft de kostprijs weer van de GIL-oplossing. Vooral de GIL zelf weegt zwaar door in de prijs. De fabrikant claimt wel dat er gewerkt wordt aan oplossingen om een aantal processen te automatiseren, waardoor de prijs zou kunnen dalen.

De tunnel zoals hier uitgerekend bestaat uit prefab gemaakt elementen die in een open sleuf worden geplaatst. Voor de kleinere hindernissen (hoofdwegen, kleine kanalen,…) waarvoor we bij kabels gestuurde boringen hadden kunnen toepassen, moeten nu ook in een geboorde tunnel komen. Deze meerkost zal sterk afhangen van het gekozen traject.

Vermits deze prijzen niet gebaseerd zijn op projectervaring, zijn er zeker posten nog niet in kaart gebracht zijn. Daarom tellen we nog 10% aan onvoorziene kosten.

Opmerking: In het kader van het EU-beleid ter vermindering van de broeikasgassen is aan het gebruik van deze technologie ook een financieel risico verbonden wanneer er een CO_2-heffing wordt ingevoerd. Hiermee is geen rekening gehouden in deze analyse.

7.1.2 Basisveronderstellingen DC-technologie

7.1.2.1 Conversiestations

Hier zullen we vertrekken van prijzen van een aantal projecten binnen de Elia Group. In de literatuur zien we soms dat een extrapolatie van de prijs naar grotere stations louter gebaseerd is op het vermogen. Door onze gesprekken met verscheidene leveranciers en gebaseerd op cijfers van eigen en buitenlandse projecten, komen we uit op volgende set van regels:

- Een rigid bipole is 20% duurder dan een symmetric monopole
- De prijs varieert ook in functie van het vermogen en de spanning:
  - 50% van de prijs van een conversiestation is vast;
  - 35% van de prijs varieert met het vermogen;
  - 15% van de prijs varieert met de spanning.

Tot voor kort voorzag men voor een VSC-conversiestation een toeslag[72] als deze moest werken met een luchtlijn. Dit was nodig om blikseminslagen te kunnen opvangen. Voor een conversiestation als ALEGrO komt dit neer op ongeveer 10M€. Men heeft hiervoor ondertussen andere methoden gevonden, waarbij de meerkost in de toekomst beperkt is.

Bij onze rondvraag waren de meningen verdeeld over eventuele prijsevoluties van de VSC-conversiestations. De grootste prijsevolutie zou kunnen gebeuren op vlak van de IGBT's. Soortgelijke elementen worden ook in elektrische wagens geplaatst. We verwachten een doorbraak van deze wagens. Hierdoor zal de productie van IGBT's overgaan op massaproductie, hetgeen de prijs sterk kan doen dalen. Het geheel van IGBT's neemt momenteel ongeveer 20% van het totale budget van een conversiestation in beslag. Stel dat deze prijs kan halveren, dan zouden de conversiestations 10% in prijs kunnen dalen.

Volgende tabel geeft een overzicht van de weerhouden prijzen voor de verschillende conversiestations:

↓ **Tabel 6**
Weerhouden prijzen voor de verschillende conversiestationsMerk op dat één rigid bipole met onze inschattingen minder kost dan twee symmetric monopoles

		Heden (M€)	Evolutie (M€)
Luchtlijn	Rigid bipole ±500kV 3000 MW	302	218
	Symmetric monopole ±320kV 1500 MW	165	138
	Symmetric monopole ±500kV 555 MW	130	109
	Symmetric monopole ±320kV 555 MW	118	99
Kabel	Rigid bipole ±500kV 3000 MW	242	218
	Symmetric monopole ±500kV 1500 MW	164	148
	Symmetric monopole	121	109

Merk op dat één rigid bipole met onze inschattingen minder kost dan twee symmetric monopoles.

72 Full-bridge in plaats van half-bridge.

7.1.2.2 Luchtlijn

Uit de technische brochure 186 'Economic assessment of HVDC links' van Cigré blijkt dat bij gelijkblijvend vermogen een DC-lijn ongeveer tweederde van een AC-lijn zou kosten. Hierbij worden vooral LCC-luchtlijnen bestudeerd. Onze budgetinschattingen voor een luchtlijn 2xLCC ±320kV rigid bipole 3000 MW, 4x707 AMS-2Z bevestigen dit. We ramen deze op 1,2M€/km ten opzichte van 1,8M€/km voor de AC-luchtlijn. Bij de LCC ±600kV bipole met nulgeleider 6000 MW, 4x928 AMS-3Z volgens tabel 6 kunnen we de kosten zelfs laten zakken tot 1,0M€/km.

Bij VSC zijn de luchtlijnen in ons geval duurder. De luchtlijn 2xVSC 500kV rigid bipole 3000 MW, 4x707 AMS-2Z, heeft dezelfde opbouw en geleiders als zijn LCC tegenhanger, maar omdat de spanning hoger is, is de mast ook groter. Hier komen we op 1.4 M€/km.

Voor de complexe masten voor de variant 4 x VSC ±320kV symmetric monopole 1500 MW, 2x707 AMS-2Z komen we uit op 1,9M€/km, hetgeen zelfs duurder is dan bij de AC-luchtlijn.

De subvariant 4 x VSC ±320kV symmetric monopole 1500 MW is dus zowel qua conversiestations als qua luchtlijn duurder dan de 2xVSC 500kV rigid bipole 3000 MW oplossing. We zullen verder in dit hoofdstuk enkel verdergaan met de tweede (goedkoopste) oplossing.

7.1.2.3 Kabel

De kabelverbinding van het ALEGrO-project (2500mm²Cu, ±320kVdc) kostte ongeveer 1,7M€/km, exclusief de tunnel onder de Maas. Voor een ±500kVdc-kabel hebben we slechts een ruwe inschatting van de prijs, maar we verwachten dat de prijs per kabel circuit op ongeveer 2M€/km zal komen.

De prijsevolutie van deze kabels volgen dezelfde trends als AC-kabels. Vermits we nu minder dan de helft van de kabels nodig hebben vergeleken met 380kV AC-kabels, is de kans minder groot dat we met dit project de markt verzadigen.

De subvariant 4 x VSC ±500kV symmetric monopole 1500 MW is duurder qua conversiestations dan de 2 x VSC 500kV rigid bipole 3000 MW oplossing en de kost van de kabels is gelijk. We zullen verder in dit hoofdstuk enkel verdergaan met de tweede (goedkoopste) oplossing.

7.1.3 Conclusie

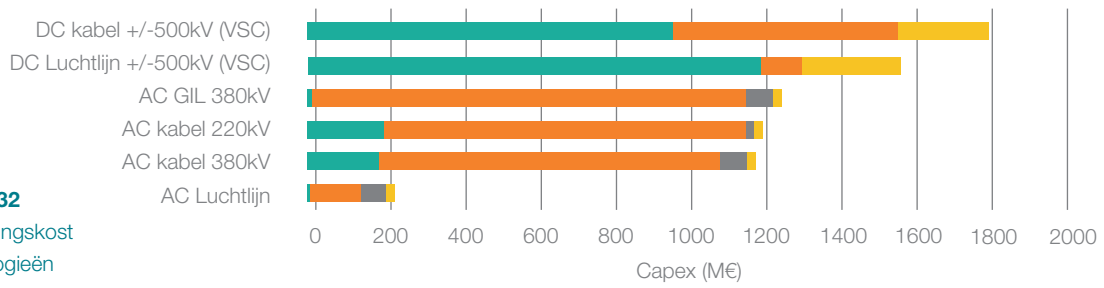
Onderstaande figuur vat de investeringskost samen voor de verscheidene technologieën, toegepast op een verbinding van 75km.

De AC-luchtlijn oplossing is veruit de goedkoopste met een investeringskost rond de 140 M€ (220 M€ indien PST's en aftakking).

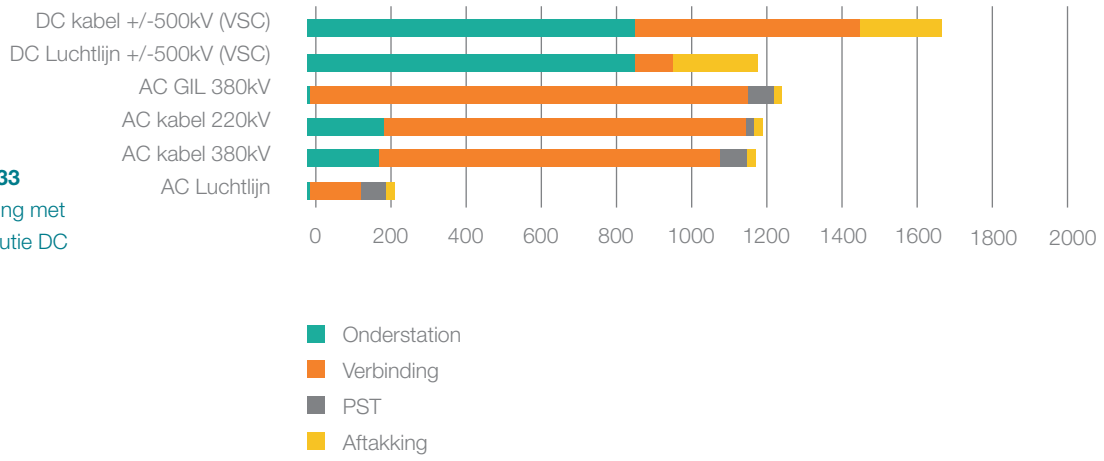
Alle andere technologieën zijn merkelijk duurder en komen voor een verbinding van 75 km uit op een investeringskost van 1,2 tot 1,3 b€ voor de andere AC-oplossingen en 1,5 tot 1,8 b€. Zonder PST en aftakking zijn de andere AC-oplossingen ongeveer 8 maal duurder dan de AC-luchtlijn, de DC-luchtlijn 9 maal en de DC-kabel zelfs 11 maal. De algemene grote investeringskost voor DC vloeit voort uit de kost voor de conversiestations die ongeacht de te overbruggen afstand noodzakelijk zijn.

Bij de meeste technologieën verwachten we geen prijsevolutie of is de prijsevolutie onzeker. Enkel bij de VSC-conversiestations is er mogelijks een prijsdaling tot 10%. Ook zal de toeslag om te kunnen werken met OHL zo goed als wegvallen. Volgende tabel houdt rekening met deze prijsevolutie. Zonder PST en aftakkingen blijven de DC-luchtlijn en de DC-kabel respectievelijk 7 en 10 maal duurder dan de AC-kabel.

Figuur 32
Investeringskost technologieën



Figuur 33
Investering met prijsevolutie DC



7.2 JAARLIJKSEKOST: NETVERLIEZEN & ONDERHOUDSKOST

7.2.1 AC-technologie

7.2.1.1 Luchtlijn

Voor klassieke masten 380kV blijkt uit analyses van Elia een typische kost van 4,5k€/km per jaar voor onderhoud. Een groot deel hiervan (2k€/km) zijn schilderwerken. Compacte pylonen zijn qua hoogte lager dan de klassieke masten waarmee deze prijs is berekend. Bovendien hebben de compacte masten geen armen in vakwerk. Er is dus minder schilderwerk per pyloon. Anderzijds is de veldlengte tussen de pylonen kleiner en zijn er dus meer pylonen te schilderen. We schatten de kosten voor schilderwerken van compacte masten op 75% van deze van klassieke masten wat een totale onderhoudskost geeft van 4k€/km per jaar.

De verliezen in de geleider worden bijna uitsluitend bepaald door klassieke “ohmse” of resistieve verliezen, die bepaald worden door het kwadraat van de stroom die door de geleider stroomt maal de weerstand van de geleiders ($W_{geleider}=I^2R$). Dit wil zeggen dat indien de stroom verdubbelt, de verliezen maal vier gaan. Als we dit toepassen op figuur 2, waarbij opvalt dat bij standaarduitbating de belasting laag is, komen we uit dat de gemiddelde reële verliezen slechts één zestiende zijn van de verliezen bij vollast.

Gemiddeld hebben de geleiders 707-2Z een soortelijke ohmse weerstand (per geleider) van 46,5mΩ/km. In ons geval hebben we een vierbundelgeleider, waardoor de weerstand slechts een kwart zal zijn. We komen uit op een jaarlijks verlies van 0,82 GWh/km/draadstel/jaar, of 65GWh/jaar voor een verbinding van 75km. Dit komt overeen met ongeveer 0,01% van het getransporteerde vermogen en een jaarlijkse kost van 3,9M€/jaar.

7.2.1.2 Kabel

De onderhoudskost bestaat uit een jaarlijkse inspectie en occasioneel een herstelling. Onder de inspectie vallen onder andere de controlemetingen van de isolatie van het scherm en de controle van de “cross bonding” kasten die aanwezig zijn ter hoog-

↓ **Tabel 7**
Jaarlijkse kost voor onderhoud en netverliezen op kabelverbindingen

Type	Onderhoudskost (k€/j)	Kabels 380kV		Kabels 220kV	
		Aantal	Totaal (M€/j)	Aantal	Totaal (M€/j)
Shunt reactor	3	42	0,13	25	0,08
Schakelveld 380kV	5	67	0,34	22	0,11
Schakelveld 220kV	4	0	-	42	0,17
Transformer 380/220kV	4	0	-	22	0,09
Totaal			**0,46**		**0,44**

te van elke verbindingsmof. Elia hanteert een gemiddelde kost van 1,5k€/km/jaar[73] per jaar, hetgeen voor een verbinding van 75km neerkomt op 0,7M€/jaar op 380kV en 1,1M€/jaar op 220kV.

Ook de shuntreactoren, transformatoren en de aansluitvelden hebben onderhoud nodig. Voor shuntreactoren en transformatoren zijn dit vooral olieanalyses en schilderwerken. In de schakelvelden betreft dit onder andere de controle, diagnose en het mechanisch onderhoud van de verschillende toestellen zoals scheiders en vermogensschakelaars. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de jaarlijkse kost.

De verliezen in kabels moet men noodzakelijkerwijs lager houden dan in de geleiders van een luchtlijn omdat kabels de warmte moeilijke kunnen evacueren. Bij kabels zijn er drie soorten verliezen:

- Resistieve verliezen in de geleider: deze verliezen zijn vergelijkbaar met deze van luchtgeleiders.
- Resistieve verliezen in het scherm: de stroom in de geleider induceert ook een stroom in het scherm. Door de wijze van plaatsing (crossbonding – zie § Vermogen) kunnen we deze stroom sterk beperken.
- “Diëlektrische” verliezen in het isolatiemateriaal: door de hoge spanning die op de isolatie wordt geplaatst, gaan onzuiverheden in dit materiaal bewegen en dit zorgt voor opwarming. Dit effect hangt af van de spanning en zal dus altijd aanwezig zijn, ook wanneer er nagenoeg geen stroom door de verbinding vloeit.

In onze case gaan we er van uit dat de verbinding gemiddeld 25%[74] belast wordt. Voor een verbinding van 75km komt dit neer op 53 GWh/jaar op 380kV (6 parallelle circuits) en op 59 GWh/jaar op 220kV (10 parallelle wegen)

De shuntreactoren veroorzaken ook netverliezen. Deze hebben typische verliezen van 0,23% en dit is quasi onafhankelijk van het getransporteerd vermogen[75]. Hierdoor zijn deze verliezen groter dan de verliezen in de kabels zelf, namelijk 105GWh/jaar op 380kV en 69GWh/jaar op 220kV.

Op 220kV moeten we ook de verliezen van de transformatoren in de eindstations meenemen. Deze hebben ook typische verliezen van 0,23% bij vollast, maar hier moeten we wel rekening houden met de effectieve belasting. De jaarlijkse verliezen van deze transformatoren zijn 29GWh.

Dit alles geeft een totaal van 159GWh/jaar op 380kV en 157GWh/jaar op 220kV, hetgeen respectievelijk 9,5M€/jaar en 9,4M€/jaar zal kosten.

7.2.1.3 GIL

Wat het onderhoud betreft, vergt de GIL in theorie zeer weinig onderhoudsinterventies. Niettemin zet de beperkte ervaringsfeedback met betrekking tot deze technologie eigenaars ertoe aan zich behoedzaam op te stellen ten aanzien van preventief onderhoud. Ook de hulpsystemen van een tunnel vragen regelmatig onderhoud. Vermeldenswaard zijn de volgende onderhoudsacties:

- Periodieke inspectierondes. Eén keer per week (bij aanvang van de exploitatie) tot één keer per maand moet er een inspectieronde plaatsvinden. Deze inspectieronde dient om ervoor te zorgen dat er geen onregelmatigheden zijn, niet alleen op het niveau van de GIL, maar ook in de volledige installatie (inclusief tunnel, koeling,…) en de eindstations. Met name de druk in de buis (densimeter) moet visueel gecontroleerd worden. Daarnaast moet men ook de algemene toestand van de tunnel controleren (waterinsijpeling, netheid enz.).
- Periodiek (maximum elke 6 jaar) moet men met precisiedrukmeters een drukcontrole uitvoeren en de gaskwaliteit (vochtgehalte) meten. Daartoe moet het

73 Waarde volgens tariefdossier 2016.

74 Dit is een gewogen gemiddelde.

75 Indien grote vermogens getransporteerd worden door de kabels, kan een beperkt deel van de shuntreactoren afgeschakeld worden.

circuit buiten bedrijf gesteld worden. Gezien de lengte van de verbinding kan dit enkele weken in beslag nemen.

- De drukmeters moeten elke 6 jaar opnieuw getest worden. Ook hiervoor moet de installatie buiten bedrijf gesteld worden.
- De SF_6-gasdetectoren in de galerij moeten periodiek gekalibreerd worden, bijvoorbeeld iedere vijf jaar.
- De zuurstofdetectoren werken met gevoelige cellen die mettertijd vanzelf opgebruikt raken en dus regelmatig weer opgeladen moeten worden.
- In de tunnel zijn ook diverse reinigingswerkzaamheden nodig. Op te merken valt dat het ventilatiesysteem ook vervuiling kan veroorzaken (daarom moet men filters installeren).
- Ook de koelsystemen en andere hulpsystemen vragen regelmatig onderhoud.
- Bovendien moeten het klassieke onderhoud van de schakelvelden in de eindstations uitgevoerd worden.Volgens onze inschattingen is er per 5 km tunnellengte één werknemer voltijds nodig, wat neerkomt op 1,5 miljoen EUR voor een 75 km lange tunnel (gerekend aan 100.000 EUR per werknemer per jaar).

Volgens onze inschattingen is er per 5 km tunnellengte één werknemer voltijds nodig, wat neerkomt op 1,5 miljoen EUR voor een 75 km lange tunnel (gerekend aan 100.000 EUR per werknemer per jaar).

De energieverliezen in een GIL zijn zoals bij de luchtlijn beperkt tot resistieve verliezen, waarbij de constructeur 6,89mΩ/km opgeeft als soortelijke weerstand. De totale energieverliezen bedragen hierdoor 47 GWh/jaar voor een dubbel systeem van 75km, wat neerkomt op 2,8M€/jaar.

In ons geval werken we met een gekoelde tunnel. Deze koeling is echter enkel nodig indien de temperatuur in de tunnel boven 20°C komt en we meer dan 4000A in een van de twee systemen willen transporteren. Vermits we meestal bij een lagere belasting uitbaten zullen we de verliezen voor de koeling in deze oefening verwaarlozen.

7.2.1.4 PST

Indien ook PST's nodig zijn, moet er per stuk rekening gehouden worden met een onderhoudskost van 10k€/jaar.

De verliezen kosten met 11GWh/jaar ongeveer 0,64M€.

7.2.2 DC-technologie

7.2.2.1 Conversiestations

Conversiestations zijn zeer complexe installaties en genereren bijgevolg veel onderhoud. Dit bestaat onder andere uit het onderhoud van het terrein en de gebouwen, het onderhoud van de transformatoren en de schakelapparatuur, het vervangen van halfgeleider elementen en het onderhoud van de koelsystemen. Afgaande van de onderhoudscontractie die aangeboden zijn voor Alegro, komt dit neer op ongeveer 2M€ per jaar per conversiestation. Volgens de constructeurs zou deze kost amper afhankelijk zijn van de grote van de installatie en ongeveer identiek voor elk type van conversiestation.

Ook de verliezen van een conversiestation zijn hoog. Deze bestaan onder andere uit resistieve verliezen, magnetisatie van de transformator en de verliezen in de halfgeleiders. Voor LCC-convertoren zijn deze verliezen al enige tijd gestabiliseerd rond 0,85% van het vermogen bij vollast. Afgaande van cijfermateriaal van de constructeur, kunnen dit we opsplitsen in:

- 1. 0,10% "no-load"-verliezen, zoals de magnetisatie van transformatoren. Deze verliezen zijn altijd aanwezig vanaf dat de convertor ingeschakeld is, ook al stroomt er geen vermogen door de convertor.

- 0,45% van de verliezen evolueren kwadratisch met de stroom. Hieronder vallen de resistieve verliezen.
- 0,30% evolueert lineair met de stroom.

Als we dit vertalen naar het belastingprofiel van onze verbinding, komen we uit op een verlies van 0,20% van het vermogen.

Historisch lagen de verliezen bij VSC-conversiestations hoger dan bij LCC. Dit is ondertussen sterk gedaald en de verliezen van de meest recente VSC symmetric monopoles evenaren de verliezen van deze van de LCC-conversiestations. Voor de VSC (rigid) bipoles zit men nog op 0,94% op vollast of 0,22% van het vermogen bij ons belastingsprofiel. Voor onze use case komt dit neer op 113GW/jaar voor de vier 3GW conversiestations. Indien ook twee conversiestations 555 MW voor een aftakking nodig zijn, komt dit bij 20GWh per jaar.

7.2.2.2 Luchtlijn

De DC-luchtlijn is qua onderhoud gelijkaardig aan AC-luchtlijnen. Net zoals bij AC variëren de schilderwerken met de oppervlakte aan staal. We komen hierdoor uit op 4k€/jaar voor de 500kV variant en op 4,5k€/jaar voor 320kV vierdraadstel variant.

Ook qua berekening van de verliezen is dit voor DC-luchtlijnen gelijkaardig aan AC-luchtlijnen. De soortelijke weerstand van de geleider 707-2Z is identiek voor AC en DC. We komen uit voor de 500kV variant VSC op 17GWh/jaar.

Samen met de convertoren geeft dit een jaarlijkse kost van 15M€.

7.2.2.3 Kabel

Er zijn slechts 2 i.p.v. 3 kabels per set en er zijn geen cross bonding kasten te onderhouden. We schatten de kosten voor het onderhoud op maximum 50% van deze van AC-kabels, hetgeen neerkomt op 0,75k€/km. Voor 4 sets kabels van 75km komt dit neer op 0,2M€.

De kabelverliezen kunnen op eenzelfde wijze berekend worden als bij AC-kabels. Merk op dat er geen verliezen zijn in het scherm omdat een DC-stroom geen stromen induceert in naburige geleiders. Voor een verbinding van 75km komt dit neer op 36 GWh/jaar op ±500kV (4 circuits).

Tellen we de verliezen van een 3GW VSC-conversiestation daarbij op, dan komen we op 16M€/jaar.

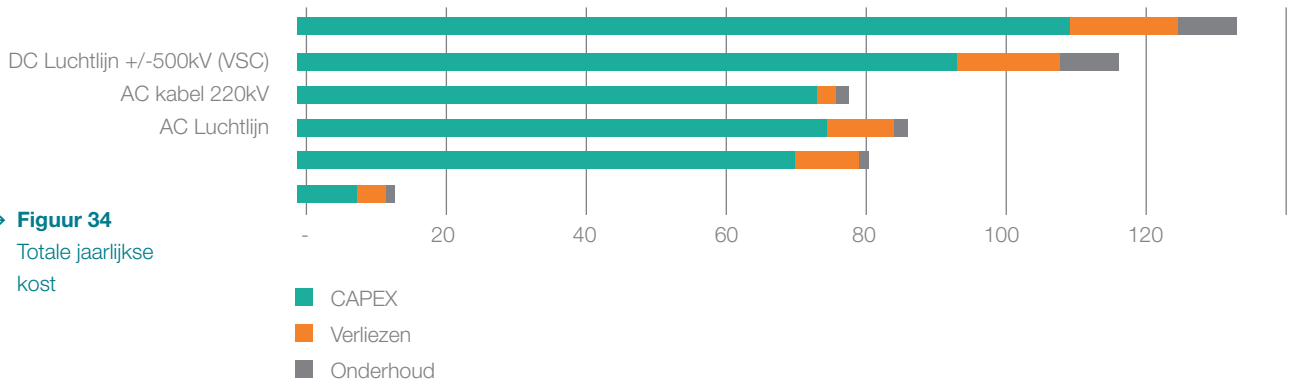
7.3 TOTALE ANNUÏTEIT

De totale annuïteit is de kost die jaarlijks betaald moet worden, enerzijds voor onderhoud & verliezen en anderzijds als vergoeding voor de investering. Onderstaande figuur vat deze totale kosten voor investering, onderhoud & verliezen samen voor de verscheidene technologieën, toegepast op een verbinding van 75 km.

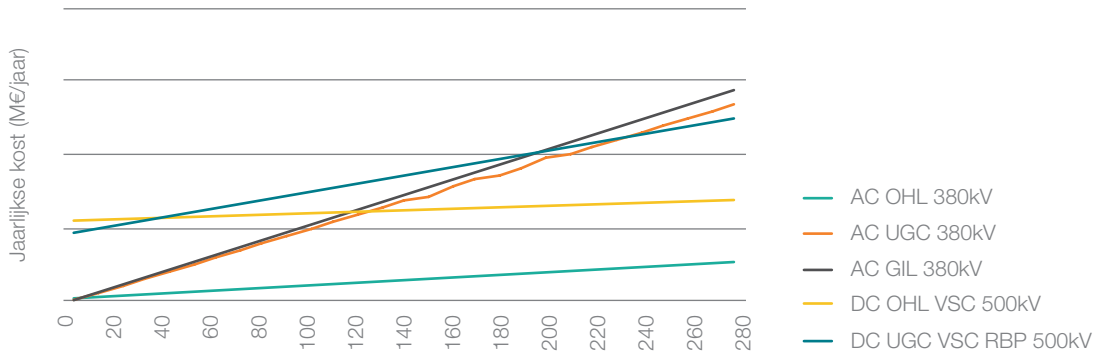
De AC-luchtlijn oplossing is met een annuïteit van 13M€ veruit de goedkoopste totaaloplossing dankzij een combinatie van de laagste investeringskost, de kleinste verliezen en laagste kosten voor onderhoud.

Alle andere technologieën zijn merkelijk duurder en leveren annuïteiten op die in grootte-orde 5 tot 10 keer meer bedragen dan bij de AC-luchtlijn en dus tot ~100 M€ meer elk jaar gedurende een periode van tientallen jaren. Dit is in de eerste plaats te wijten aan de grotere investeringskosten van de andere technologieën. Bij DC-technologieën tellen bovendien de jaarlijkse kosten voor onderhoud en netverliezen zwaar door (alleen al de netverliezen voor de DC-technologie zijn groter dan de totale annuïteit van de AC-luchtlijn).

JAARLIJKSE KOST



→ **Figuur 34**
Totale jaarlijkse kost



→ **Figuur 35**
Prijs in functie van verbinding

Merk op dat we voor de prijs van de verliezen slechts 60€/MWh hebben genomen, waar de voorspellingen tussen 50€/MWh en 90€/MWh zijn. Indien de prijzen naar 90€/MWh zouden gaan maakt dit, op de GIL oplossing na, de kloof met de AC-luchtlijn enkel groter.

De prijsverhouding tussen de verschillende technologieën hangt af van de lengte van de verbinding. Onderstaande grafiek geeft de prijs in functie van de lengte van de verbinding. Voor zeer lange verbinding wordt zowel bovengronds als ondergronds een DC-verbinding goedkoper dan de AC-oplossingen. Er is echter grote afstand nodig om de hoge investeringskost van de conversiestations terug te verdienen. (+/-200km ondergronds en +/-1700km bovengronds in onze case) Voor afstanden tussen 50 en 100km (en zelfs meer) blijven de conclusies uit dit hoofdstuk dus geldig.[76]

76

In sommige gevallen is DC de enig mogelijke oplossing en daardoor wordt DC soms ook gebruikt voor kortere afstanden.

VIII

Impact op milieu & omgeving

8.1 | Grondinname tijdens & na de werken
8.1.1 | AC-technologie
8.1.2 | DC-technologie
8.1.3 | Overzicht
8.2.2 | DC-technologie
8.3 | Geluid
8.3.1 | AC-technologie
8.3.2 | DC-technologie
8.4 | Magnetische velden
8.4.1 | AC-technologie
8.4.2 | DC-technologie
8.5 | Broeikasgasemissies
8.5.1 | Elektrische verliezen
8.5.2 | SF_6

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

VIII Impact op milieu & omgeving

8.1 GRONDINNAME TIJDENS & NA DE WERKEN

8.1.1 AC-technologie

8.1.1.1 Luchtlijn

Tijdens de realisatiefase zal er een werfzone worden ingericht van ongeveer 50 m x 50 m om de masten te kunnen opbouwen. Er dienen ook toegangswegen voorzien te worden. Op bepaalde locaties zullen ook nog bijkomende werfzones zijn voor het trekken van de geleiders in het verlengde van de verbinding. Dit is uiteraard alleen tijdelijk.

→ Na de realisatiefase

Na de realisatiefase zal een lijnmast 44 m² in beslag nemen; voor buismasten zal dit iets beperkter zijn. Rondom de masten zijn landbouwwerkzaamheden wel nog steeds mogelijk.

De luchtlijn dient uiteraard aangesloten te worden op een onderstation om de stroom verder te kunnen transporteren. Indien er geen onderstation is waarop de bijkomende capaciteit beschikbaar is dient een nieuw onderstation gebouwd te worden. Een standaard onderstation omvat ongeveer 8 ha. Bij de uitbreiding van een bestaande post zal er ongeveer 1 ha bijkomende ruimte nodig zijn voor het plaatsen van 2 aankomstvelden. Voor het voorgestelde traject zijn er 3 onderstations nodig. Bovendien zijn er ook nog bijkomende elementen nodig, zoals een phase shifter transformer (PST). De extra oppervlakte die nodig is voor een PST per uiteinde, is ongeveer 0,3 ha.

↓ **Figuur 36** Voorbeeld van een werfzone voor het trekken van geleiders

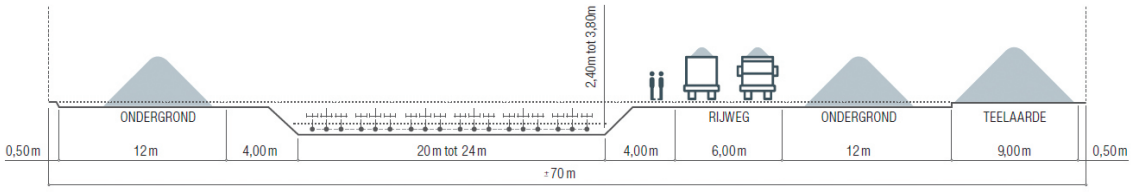
8.1.1.2 Kabel

→ Tijdens de realisatiefase

Rekening houdende met feit dat de vereiste capaciteit 6 GW bedraagt, impliceert dit de plaatsing van een ondergronds tracé bestaande uit 18 kabels, verdeeld over 6 draadstellen (3 fasen per stel). Tussen elke kabel is een tussenruimte van 1 meter nodig om onderlinge opwarming te vermijden, waardoor de werfzone, inclusief stockageplaatsen voor de verschillende soorten grond (ondergrond, teelaarde), toegangsweg en werkzone ongeveer 70 m breed is (zie figuur 37).

Indien er een gefaseerde plaatsing zou zijn van de circuits (3 draadstellen plaatsen en dichtgraven voor men aan de volgende 3 begint), dan nog zal de werfzone minstens 55m breed moeten zijn, vermits er geen aarde gestockeerd mag worden op de kabels die reeds in dienst zijn. Dit zou immers kunnen leiden tot een verlies van transportcapaciteit door de hogere isolatie met de extra aardlaag, waardoor de warmteafvoer verslechtert.

Indien er een ondergrondse 220 kV kabel bestaande uit 10 draadstellen (3 fasen per stel) wordt geplaatst, zal de sleufbreedte 30 tot 40 m bedragen (tussenafstand 1 m) en de werfzone +/-100 m, door de grote-



↑ **Figuur 37**
Doorsnede werfzone kabels 380kV

↑ **Figuur 38**
Doorsnede werfzone kabels 220kV

re hoeveelheid aarde die gestockeerd moet worden door de bredere sleuf (zie figuur 38).

Rekening houdend met bovenstaande cijfers, is het dus niet mogelijk om zoals bij 150kV de kabels in de openbare weg te plaatsen. Er zal echter wel een impact zijn op de openbare weg door de verschillende transporten van werfmachines en kabels (30 à 50 transporten per km sleuf).

→ Na de realisatiefase

AAlle mogelijke maatregelen zullen worden genomen om de oorspronkelijke staat van het terrein zo goed mogelijk te herstellen. Zo worden de verschillende bodemlagen gescheiden afgegraven, gestockeerd en in de juiste volgorde teruggeplaatst en worden drainagesystemen hersteld. De wijziging in bodemtoestand door de laag waar de kabels in liggen en de warmte door de kabels zelf is, afhankelijk van de lokale situatie, een aandachtspunt voor het landbouwgebruik. Zo mag men geen diepwortelende gewassen meer cultiveren boven de kabelzone om schade aan de kabels te vermijden.[77]

Na de werken gelden er op de strook waaronder de kabels liggen, beperkingen in de mogelijkheden voor landgebruik vermits er geen verhoging of verlaging (reliëfwijziging) van de bedekking boven de kabel mag gebeuren. Verder dient de kabel snel bereikbaar te zijn bij een incident waardoor er geen verharding, bebouwing, begroeiing met bomen boven de kabel aangelegd mag worden.

Zoals eerder vermeld impliceert een 380 kV kabel de bouw van shuntreactoren, tussenstations en (actieve) filters. Op een traject van 75 km (6 draadstellen) zullen in totaal 42 shuntreactoren van 130 Mvar geplaatst moeten worden. Indien we uitgaan van slechts één tussenstation waarbij alle shuntreactoren op een afzonderlijk aansluitveld worden geplaatst, zal het tus-

↑ **Figuur 39**
Zijaanzicht van een standaard 380kV-veld

77
https://renewables-grid.eu/fileadmin/user_upload/Files_RGI/RGI_Publications/Factsheets/RGI_Factsheet_Underground_Cables_Environment.pdf

senstation bestaan uit 12 kabelvelden, 21 velden voor reactieve compensatie en 1 koppeling. De onderstations aan de uiteinden moeten voorzien worden met 6 aankomstvelden voor de kabels, 10 of 11 shuntreactoren en enkele (actieve) filters[78].

Met standaard AIS[79] velden, waarbij lucht als isolator tussen de elektrische elementen dient, komt de totale oppervlakte ongeveer op:

- Station aan uiteinde: 200 m x 500 m = 10 ha per uiteinde[80];
- Tussenstation: 200 m x 850 m = 17 ha;

→ **In totaal is er dan 2 x 10 ha + 17 ha = 37 ha nodig**

Hierbij moet opgemerkt worden dat deze oppervlakte nog geen rekening houdt met groenschermen of verloren ruimte bij een niet rechthoekige vorm van het terrein, of met de nodige oppervlakte en poststructuur voor de eventuele PST's.

De oppervlakte kan echter wel verkleind worden door het nemen van verschillende ingrepen. Hieronder wordt een oplijsting gegeven maar staat niet vast of deze maatregelen in dit geval kunnen worden toegepast.

- Analoog met de GIL, kan met de velden in het tussenstation ook isoleren met SF_6 in plaats van met lucht, zoals bij AIS. Dit noemt men een GIS[81] station. Het gebruik van GIS in het tussenstations laat toe om compactere aansluitvelden op te bouwen, waardoor de grondinname voor een tussenstation 4 maal kleiner kan worden. Voor de bestaande eindstations zal men echter steeds de voorkeur geven om de bestaande technologie uit te breiden.
- Het parallel plaatsen van een shuntreactor en kabel op éénzelfde aansluitveld, in plaats van een apart veld voor een kabeluiteinde en voor een shuntreactor. Zoals besproken in hoofdstuk 4.1.2 kan dit voor een deel van de shuntreactoren. Indien we aan elke uiteinde van de kabel één shunt reactor rechtstreeks op het kabelveld plaatsen kunnen we, met één tussenstation, 24 aansluitvelden besparen (6 circuits x 2 stukken bij het opdelen via een tussenstation x 2 uiteindes geeft 24 aansluitvelden). Vooral in AIS levert dit een belangrijke plaatsbesparing op (+/-0,5 ha per aansluitveld). De oppervlaktebesparing bij een GIS veld is hier miniem, gezien de compacte structuur van GIS installaties.

Indien al deze maatregelen kunnen uitgevoerd worden, zou de nuttige oppervlakte beperkt kunnen worden tot 7 ha in de eindstations en 4 ha voor het tussenstation. Dit geeft een totale oppervlakte van 18 ha voor 2 eindstations en 1 tussenstation.

Voor de 220 kV kabeloplossing (10 draadstellen) zijn de volgende zaken nodig:

- 11 transformatoren van 600MVA, met bijhorende aansluitvelden 380kV om op de bestaande 380 kV infrastructuur te kunnen aansluiten;
- Een tussenstation 220 kV: we veronderstellen hier steeds in GIS uitvoering omdat deze installaties reeds gangbaar zijn op dit spanningsniveau. De GIS uitvoering heeft hier de voorkeur door de hoge maturiteit en beperkte grondinname.
- Shuntreactoren, inclusief aankomst op 220 kV: bij een verbinding van 75 km zouden, met dezelfde redenering als op 380kV, 12 shuntreactoren 130 Mvar moeten worden geplaatst aan elk uiteinde.

Dit geeft per AIS onderstation een extra oppervlakte van ongeveer 15 ha.

78 Zoals eerder beschreven moeten een gedetailleerde studie per project het aantal en de grote bepalen.

79 AIS: Air Insulated System. De installatie wordt op isolatoren geplaats. De omgevingslucht wordt verder gebruikt als isolatiemedium.

80 Hierbij is 2ha verondersteld voor de filters. Deze oppervlakte kan geval per geval sterk wijzigen.

81 GIS: Gas Insulated System. De installatie worden in buizen geplaatst met een isolerend gas, tot op heden meestal SF_6.

8.1.1.3 GIL

De GIL in een tunnel wordt geplaatst op een beperkte diepte (bovenkant tunnel tot op -1 m). De mogelijkheden van het grondgebruik boven de tunnel is daardoor vergelijkbaar met deze boven kabels. De breedte van de corridor is zowel tijdens de werffase als nadien vergelijkbaar is met de case van een ondergrondse DC-verbinding. De breedte van de sleuf voor de tunnel is 4,9 m en de breedte van de werfzone, inclusief stockage van de afgegraven aarde is 43,4 m.

Vermits de tunnel gekoeld wordt zal ook op regelmatige afstanden een technisch station moeten worden geplaatst voor deze koelinstallaties. Deze zijn echter beperkt in oppervlakte (ongeveer 15 m x 15 m per installatie).

8.1.1.4 PST

In het geval PST's nodig zijn, zal in één van de eindstations 1ha tot 1,5ha extra terrein nodig zijn.

8.1.2 DC-technologie

8.1.2.1 Conversiestations

Op basis van de momenteel beschikbare informatie en discussies met de belangrijkste leveranciers van HVDC omvormers kan men redelijkerwijs uitgaan van de volgende minimaal ingenomen grondoppervlakken (hierna 'grondinname') om de 2x3000 MW te converteren:

- VSC-SMP van 1500 MW op ±320 tot ±400 kVdc
  - 1,7-2,3 ha
- VSC-BIP van 3000 MW op ±500 kVdc
  - 6,1-8,2 ha
- VSC-RBP
  - 4,9-6,5 ha van 3000 MW op ±500 kVdc

Ter info: door de nood aan uitgebreide hoogspanningsfilters, zie figuur 40 en Figuur 41, is de benodigde oppervlakte voor een LCC-conversiestation ruwweg dubbel zo groot dan voor een VSC-conversiestation.

8.1.2.2 Luchtlijn

Voor een DC luchtlijn zijn dezelfde conclusies als een AC luchtlijn geldig.

8.1.2.3 Kabel

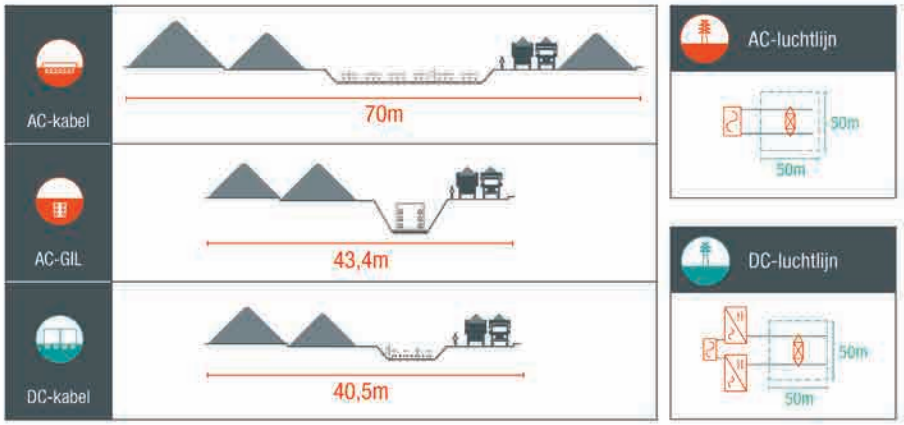
Omdat er geen inductie in de mantelschermen optreedt, kunnen DC kabels korter bij elkaar geplaatst worden zonder veel aan transmissiecapaciteit in te boeten. Ook zijn er maar twee fasen en kan op 500 kV 50% meer vermogen getransporteerd worden dan bij een 380 kV AC kabel. Hierdoor zijn 4 x 2 kabels nodig. Dit alles zorgt voor een beduidende smallere corridor.

Elke DC-circuit (2 DC-kabels, positieve pool en negatieve pool), heeft een sleufbreedte van ongeveer 1 meterErreur: source de la référence non trouvée. Om te vermijden dat bij graafwerken door derden meerdere sets kabels gezamenlijk worden beschadigd, worden mechanische beschermingen (bvb betonblokken) tussen de sets geplaatst. In totaal is een strook van 6 m voldoende voor de 4 sets DC-kabels (8 kabels in totaal). Tijdens de werffase zal de werkzone ook versmald kunnen worden tot ongeveer 40,5 m ten opzichte van 70 m brede 380 kV AC-kabel oplossing, zie figuur 38.

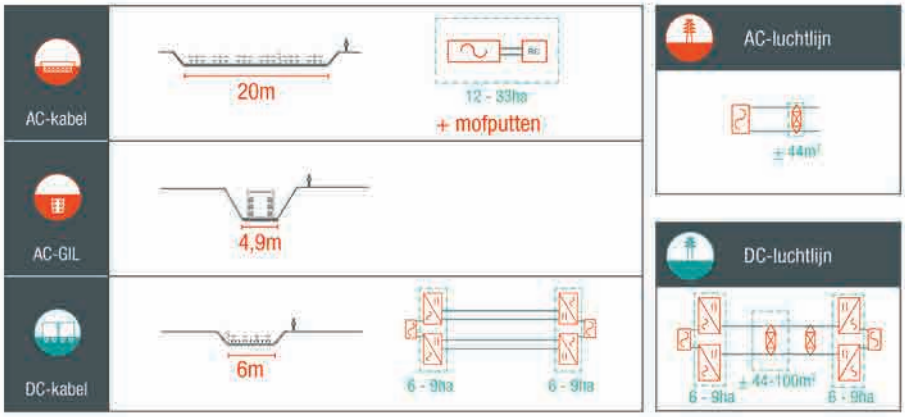
Doordat DC kabels ook geen capacitief vermogen genereren, is er voor lange verbindingen ook geen reactieve compensatie nodig en zijn tussenstations dus overbodig.

8.1.3 Overzicht

Hieronder wordt er een overzicht gegeven van de breedtes per technologie tijdens en na de realisatiefase.



→ **Figuur 40**
Breedtes van de werfzones



→ **Figuur 41**
Grondinname van de sleuven of masten

8.2 VISUELE IMPACT

8.2.1 AC-technologie

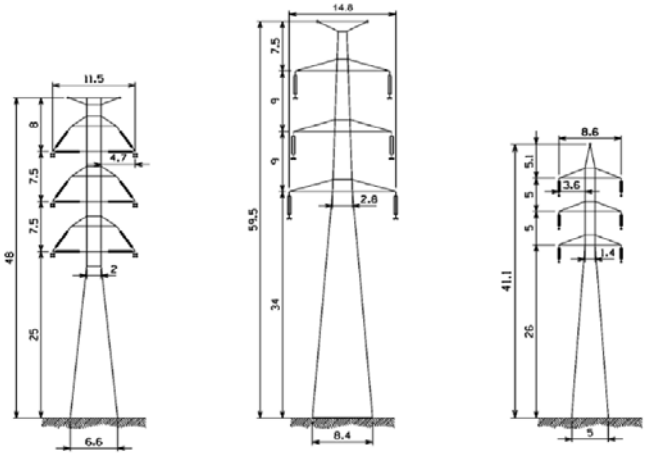
8.2.1.1 Luchtlijn

Een belangrijk aandachtspunt van de luchtlijn is de visuele impact. Er kunnen mitigerende maatregelen worden genomen, zoals de hoogspanningslijn bundelen met andere hoogspanningslijnen (zie hieronder), op de plaats van een oude lijn bouwen, parallel met andere infrastructuren plaatsen (bvb een autosnelweg) of de layout van de masten wijzigen (compacter, lager, “esthetischer”,…). Zo leunt de omvang van de compacte 380kV masten dichter aan de omvang van een 150kV mast dan aan een klassieke 380kV mast t (zie hieronder).

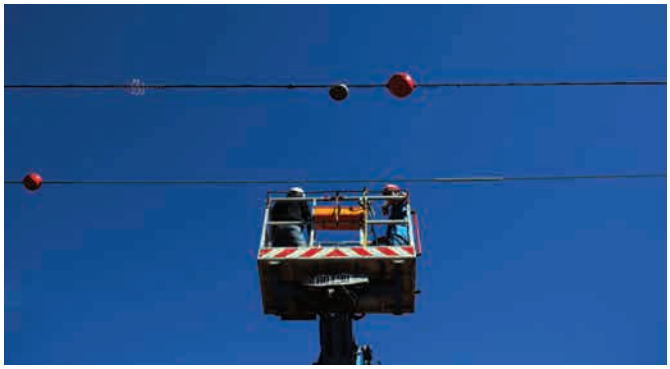
In functie van de precieze locatie en hoogte van de masten dienen er op de geleiders bebakeningsbollen (figuur 43) of op de masten lichten te worden geplaatst of masten geschilderd te worden als gevolg van de wetgeving met betrekking tot het luchtverkeer volgens Circulaire CIR-GDF03. Aan de kruising van snelwegen dienen lokaal signalisatiebollen geplaatst te worden.

Naast het mastontwerp wordt ook ingezet op een landschappelijke integratie door tracés te zoeken met zo weinig mogelijk bochten. Enerzijds zijn rechte lijnen visueel minder storend en anderzijds beperkt dit het gebruik van visueel zwaardere en grotere hoekmasten, zie 4-5. Daarnaast kan men ook investeren in de realisatie van groenschermen. Bij plaatsing van groenelementen op grotere afstand is een inpassing van de masten in het landschap mogelijk. Verdere informatie over de visuele impact van masten wordt besproken in de studie over nieuwe mastconcepten.

Rondom de hoogspanningslijn dient er wel een “veiligheidscorridor” te worden ingesteld dewelke afhankelijk is van de doorhang van de geleiders, hun uitzwaaigabarit en de te respecteren veiligheidsafstanden. Een corridor impliceert dat er binnen deze



↑ **Figuur 42**
Schema van een 380kV-compacte mast met 2 circuits (links) naast een klassieke 380kV-mast (midden) en een klassieke 150kV-mast (rechts)



↑ **Figuur 43**
Plaatsing van bebakeningsbollen (bron: RTE)

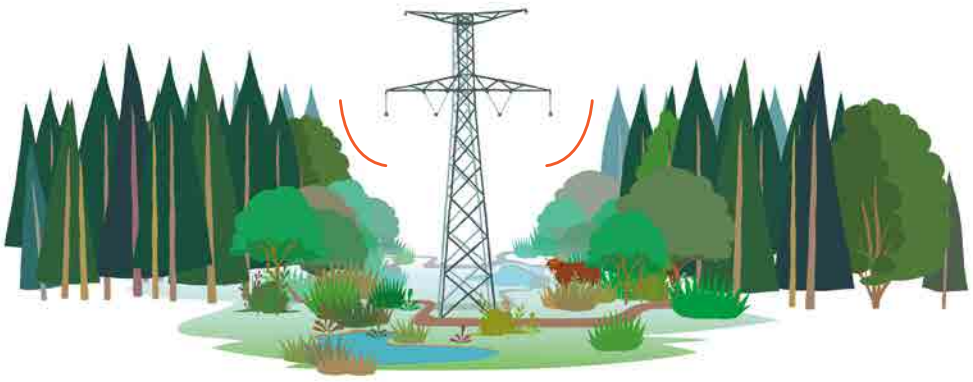
veiligheidszone geen enkel object mag zijn dewelke de hoogspanningslijn mag raken. Elia tracht deze corridors op een ecologische manier uit te baten[82].

8.2.1.2 Kabel

Na de realisatie zal de kabel niet meer zichtbaar zijn, uitgezonderd de inspectieputten waar de kabels aan elkaar gelast zijn om de verbinding te beheren en te onderhouden. Elke kilometer is er een set van inspectieputten nodig. Deze komen ongeveer een halve meter boven de begane grond, worden zo dicht mogelijk tegen de rand van de percelen geplaatst en worden omheind.

In aanvulling zullen de shuntreactoren, de filters en de tussenstations ook een visuele impact hebben.

Indien de kabel geplaatst wordt in bosrijk gebied zullen er zich op het tracé van de kabel geen bomen meer bevinden. Aangezien diepwortelende gewassen de kabel kunnen beschadigen, is zulke aanplanting verboden in de kabelzone. Deze kan tot 20 m breed zijn (zie figuur 40), exclusief een toegangszone langs weerszijden. Tijdens de realisatiefase worden alle gewassen binnen de werfzone (figuur 44) gekapt, waardoor er over een breedte tot 70 m gedurende enkele jaren geen hoge gewassen meer te zien zullen zijn.



→ **Figuur 44**
Voorstelling van de veiligheidscorridor rond een geleider

82
www.life-elia.eu

↑ **Figuur 45**
Simulatie van een conversiestation

↑ **Figuur 46**
3D-model van een conversiestation

8.2.1.3 GIL

Een GIL installatie is zoals een kabel niet zichtbaar, uitgezonderd de koelinstallaties voor de koeling van de tunnel (zie Hoofdstuk Ondergronds.). Deze koelinstallaties bevinden zich in kleine gebouwen langs het tracé van de GIL. De tussenafstand tussen deze koelinstallaties ligt op dit moment niet vast, maar wordt ingeschat op 1 kilometer.

Ook zoals bij een kabel zijn bij een GIL snoeiwerken nodig tijdens de realisatiefase (tot 44 m), en zal er na de realisatiefase een corridor van minstens 5 m overblijven waarop er geen diepwortelende gewassen mogen groeien.

8.2.2 DC-technologie

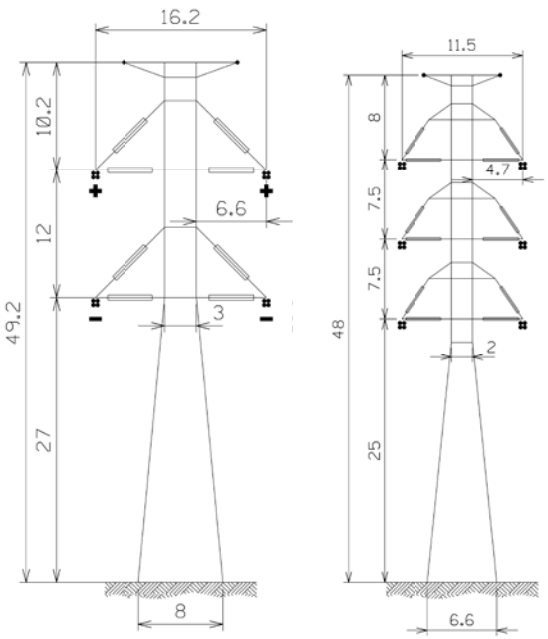
8.2.2.1 Conversiestation

De visuele impact van een conversiestation is beperkt tot de visuele impact van een groot gebouw of loods. De grootte van het gebouw is afhankelijk van de benodigde oppervlakte voor de gekozen conversietechnologie (zie vorige paragraaf).

Door middel van het plaatsen van groenelementen is een inpassing van het gebouw in het landschap mogelijk.

8.2.2.2 Luchtlijn

De visuele impact van een AC luchtlijn en een DC luchtlijn is gelijkaardig, behalve dat het aantal geleiders, en dus het aantal mastarmen op een mast, lager is bij een DC luchtlijn (2 x 2 geleiderbundels) dan bij een AC luchtlijn (2 x 3 geleiderbundels).



↑ **Figuur 47**
HVDC 500kV-luchtlijn met 2 draadstellen op compacte mast naast AC 380kV-luchtlijn op compacte mast

8.2.2.3 Kabel

Bij een DC kabel zijn er, net zoals een AC kabel, inspectieputten nodig, en geldt er een beperking op diepwortelende gewassen in de buurt van het tracé. Bij een DC kabel is er echter geen reactieve compensatie nodig, waardoor er geen nood is aan tussenstations en shunt reactors langs het tracé.

8.3 GELUID

8.3.1 AC-technologie

8.3.1.1 Luchtlijn

De opbouw van de geleiders heeft een impact op het geluidsniveau dat een luchtlijn kan produceren. Dit is afhankelijk van het aantal subgeleiders (aantal geleiders in een bundel) en hun diameter. Zo daalt het geluid indien er meer en dikkere subgeleiders worden gebruikt. De geleider dient te voldoen aan de geldende normen EN50341 en de normen uit regionale milieuwetgeving.

Dus indien er een hoogspanningslijn gebouwd wordt met het type geleider 4x707 AMS-2Z met 32,4 mm diameter ligt het geluidsniveau met 45dB(A)[83] duidelijk onder het wettelijk vastgelegde niveau van 53 dB(A) volgens Belgische National Normative Aspects EN50341 “Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV” (2012).

8.3.1.2 Kabel

Bij het plaatsen van een groot aantal shuntreactoren op één site mag de geluidsproblematiek niet onderschat worden. Omwille van zijn constructie heeft een shuntreactor +10 dB extra geluidsvermogen in vergelijking met een transformator met een equivalente capaciteit, hetgeen neerkomt op zo’n 90dB(A) voor een shuntreactor van 130Mvar. In de 220kV variant zijn ook grote transformatoren nodig waarbij het geluid ook bijna 90dB(A) bereikt per stuk. Tot slot produceren ook de filters geluid. Dit geluid hangt af van de omstandigheden, maar kan 90dB(A) tot zelfs 100dB(A) bedragen.

Er zijn een aantal maatregelen mogelijk om dit geluid te mitigeren, zoals geluidsschermen, maar dit heeft zijn limieten. De eind- en tussenstations zijn daarom niet geschikt voor gebieden met strenge geluidsnormen.

8.3.1.3 GIL

Het geluid bij een GIL installatie wordt geproduceerd door de ventilatie en de koeling van de tunnel. Een standaard industriële luchtkoelinstallatie produceert een geluidsniveau tussen 80 en 90 dB(A). Ook komen op de uiteinden een beperkt aantal shuntreactoren (in totaal 3 voor onze case). Het naleven van de geluidsnormen is dus moeilijker dan bij een luchtlijn en zal meer maatregelen zoals geluidsschermen vergen.

8.3.2 DC-technologie

8.3.2.1 Conversiestation

Het DC-conversiestation telt twee belangrijke geluidsbronnen[84]:

- De transformatoren: bij een symmetrische monopool is dit te vergelijken met een AC-transformator van hetzelfde vermogen. Bij een bipool neemt het geluid zelfs toe.
- Koelinstallaties: de hoge energieverliezen in een conversiestation moeten afgevoerd worden om de vermogenselektronica niet te oververhitten. Hiervoor is een omvangrijke koelinstallatie nodig. Een batterij buiten opgestelde ventilatoren zijn hierbij nodig om de warmte af te staan aan de omgevingslucht.

Er zijn een aantal maatregelen mogelijk om dit geluid te mitigeren, zoals geluidsschermen, maar dit heeft zijn limieten. Conversiestations zijn daarom niet geschikt voor gebieden met strenge geluidsnormen.

83 Gemeten bij vochtige weersomstandigheden.

84 In de veronderstelling dat geen hoogspanningsfilters nodig zijn.

8.3.2.2 Luchtlijn

Het totale geluidsniveau van een DC luchtlijn is vergelijkbaar met het geluidsniveau van een AC luchtlijnlijn. Een DC-lijn produceert bij droge weersomstandigheden meer geluid, terwijl de 380kV AC-lijn meer geluid bij vochtig weer produceert (max. 53 dB(A)). De positieve pool bij een DC-luchtlijn geeft meer geluid dan de negatieve pool. Bij andere TSO's wordt de limiet van 40-42 dB(A) (Cigré TB388) gehanteerd op de grens van de corridor. Deze limiet zal mee de configuratie bepalen (aantal geleiders in een bundel en de diameter van de geleiders).

Bij gebrek aan wetgeving voor DC-luchtlijnen baseren we ons op de richtwaarden die opgenomen zijn in de Belgische NNA's van de Europese Norm EN50341 voor het ontwerp van de AC-luchtlijnen van meer dan 1 kV. Het geluid moet hierbij in twee weersomstandigheden nagekeken/gemeten worden:

- Vochtige weersomstandigheden: max. 53 dB(A) op 20 m van de dichtste geleider
- Droge weersomstandigheden: max. 40 dB(A) 2 m boven de grond in woongebieden

In tegenstelling tot AC-luchtlijnen is het geluid bij DC het hoogst bij (langdurig) droog weer[85], waardoor deze norm veel moeilijker te behalen is. Met de masten en hun bijhorende geleiders voorgesteld in §Luchtlijn. zal de 40 dB(A) limiet gehaald worden op 30 m van de as van de luchtlijn. Dit betekent dat in een corridor van 60 m geen woongebieden zijn toegestaan.

In Vlaanderen gelden bovendien de VLAREM II richtwaarden voor geluid in open lucht.[86] In "Agrarisch gebied" (waar deze luchtlijnen meestal worden geplaatst) moet het geluid's nachts beperkt worden tot 35 dB(A), ook net onder de luchtlijn. Voor "Landelijk gebied" of "Gebied voor verblijfsrecreatie" zijn de richtwaarden zelfs 5 dB(A) strenger.

Ofwel is een afwijking nodig van de VLAREM II richtwaarden, ofwel dient de opbouw van de mast gewijzigd te worden. Dit kan door:

- Afstanden te vergroten tussen de geleiders. Dit kan bijvoorbeeld door voor een klassiek mastsilhouet te kiezen in plaats van een compacte mast.
- De uitbatingsspanning te verlagen.
- De sectie van de geleiders te verhogen en/of het aantal geleiders in een bundel te vermeerderen.

De ±320kV-variant op een klassieke mast (zoals de complexe mast) zal dus het meest geschikt zijn om deze richtlijnen te kunnen halen. Zeker bij VSC zullen de (bundel-) geleiders bovendien overgedimensioneerd moeten worden.

8.3.2.3 Kabel

Aangezien er bij een DC-kabel geen extra shuntreactoren vereist zijn, is de geluidsproductie langs het tracé nihil.

8.4 MAGNETISCHE VELDEN

8.4.1 AC-technologie

8.4.1.1 Luchtlijn

Rond elektrische toestellen en netten voor het transport en de distributie van elektriciteit worden door de wisselende velden in spanning en stroom (zoals de naam van AC het definieert: alternating current) elektrische en magnetische velden gegenereerd. Deze velden worden gekenmerkt door hun frequentie (50 Hz) en hun intensiteit. Een elektrisch veld wordt gegenereerd door de aanwezigheid van elektrische ladingen terwijl een magnetisch veld opgewekt wordt door de verplaatsing van deze elektrische ladingen. Het magneetveld van een bovengrondse lijn is, in eerste benadering, evenredig met de sterkte van de stroom die er doorvloeit; het hangt af van de geometrische opstelling van de gelei-

85 Vuil stapelt zich in dit geval op de geleider, watmeer corona-geluid creëert.

86 De beschreven meetmethode is lichtjes verschillend van deze van de Belgische en Europese norm.

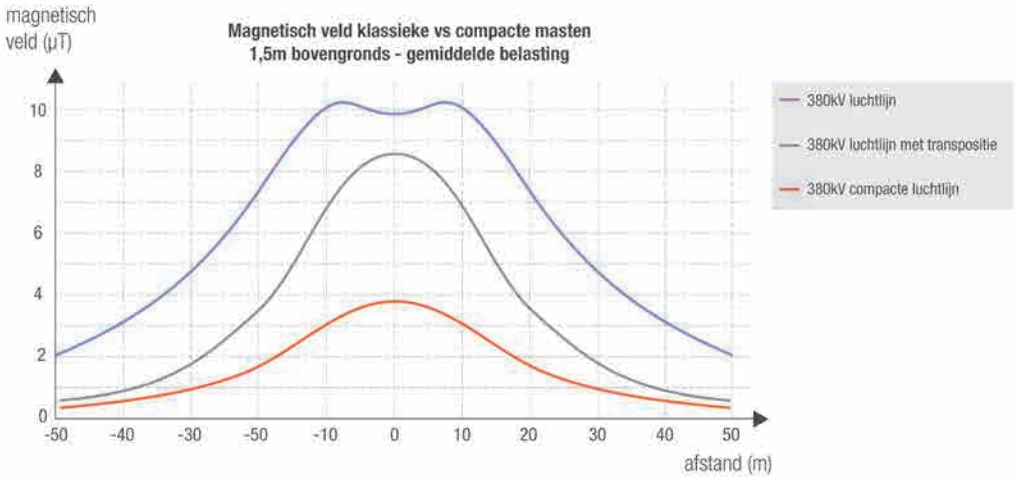
ders, neemt toe met de onderlinge afstand tussen de geleiders zelf, en neemt af met de afstand tot de lijn.

Het maximaal elektrisch veld dat onder een bovengrondse hoogspanningslijn aanwezig is, is in eerste benadering evenredig met de spanning van de lijn en omgekeerd evenredig met de afstand tussen de onderste geleider en de grond.

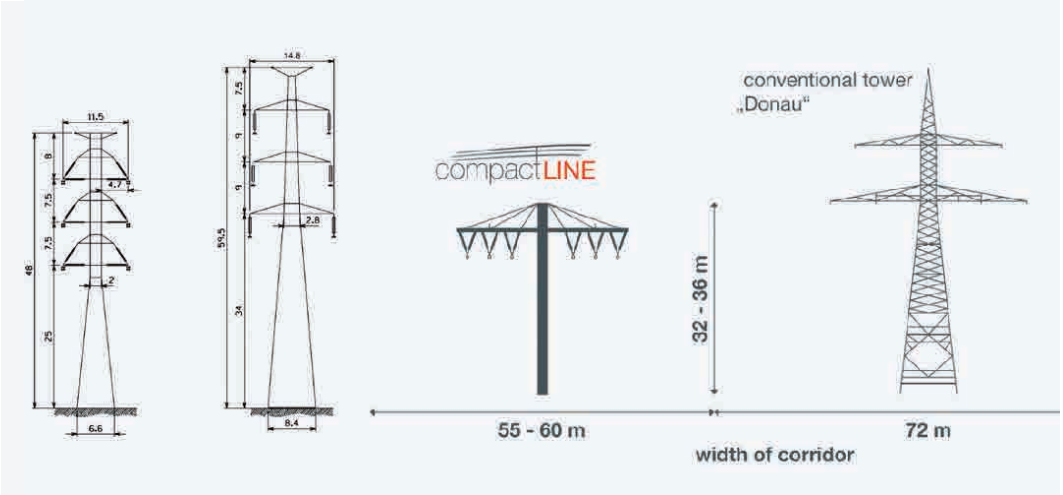
De sterkte van de magnetische velden in de omgeving van de hoogspanningsverbindingen wordt behalve de afstand tot de geleiders ook bepaald door de schikking van de fasen (hoe de drie geleiders geplaatst worden). Door de fasen op een bepaalde manier te schikken (faseschikking of transpositie) kunnen de magnetische velden verlaagd worden. Bij de nieuwe hoogspanningslijnen met 2 draadstellen wordt dit standaard toegepast. Het type geleider dat bij de nieuwe lijnen in het kader van het nieuwe project gebruikt kan worden, zal geen invloed hebben op de magnetische velden. De stromen die nodig zijn voor een capaciteit van 3GW zijn immers onafhankelijk van het type geleider (HTLS of 4 x 707 AMS-2Z), en zijn hetzelfde voor alle types.

Bij compacte masten, zoals gebruikt bij het Stevin-project, is de afstand tussen de geleiders onderling een stuk kleiner dan bij het klassieke mastontwerp, hierdoor wordt het effect van transpositie nog verstrekt, wat uiteindelijk resulteert in een magnetische invloedzone die 3 keer kleiner is. Figuur 50 illustreert het profiel van het magnetisch veld (veldsterkte in functie van de afstand tot de as van de lijn) voor verschillende types van mastconfiguraties met een dubbel draadstel

Ook de configuratie van de geleiders heeft een invloed. We onderscheiden drie basisconfiguratie: verticaal (zoals compacte masten), horizontaal en in driehoek, zoals de Donauconfiguratie.



→ **Figuur 48**
Magnetisch veld van klassieke vs compacte masten 380kV



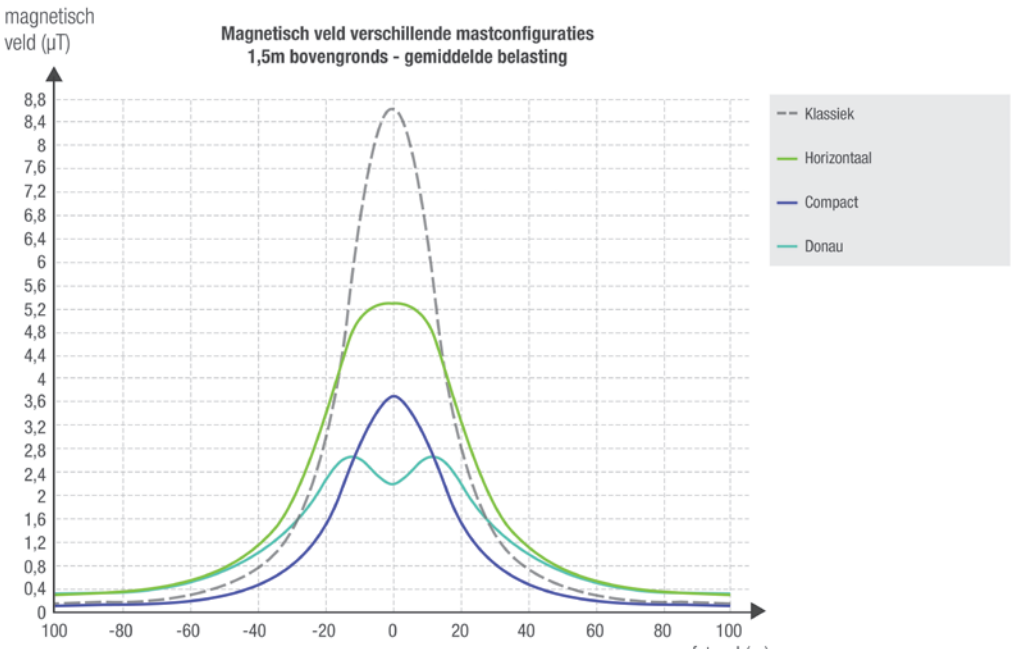
↑ **Figuur 49**
Verschillende types van mastconfiguraties
Van links naar rechts: compact, klassiek, horizontaal, Donau

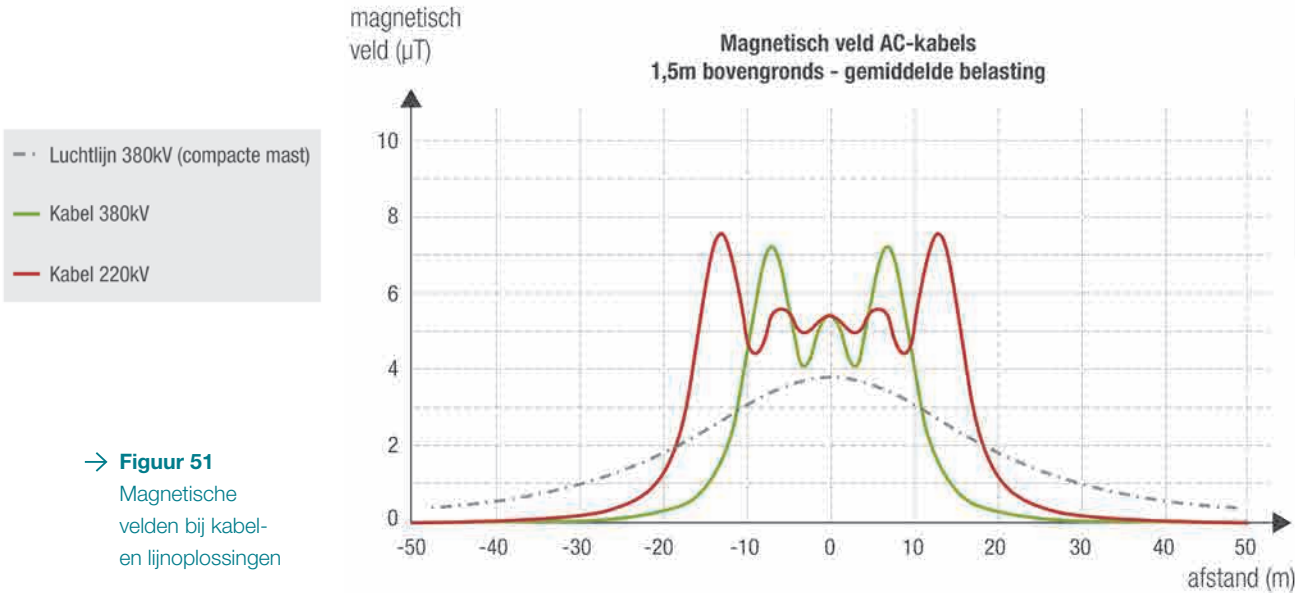
De laagste (maximum) waarde wordt bereikt indien aan beide zijden de drie fasen in driehoek worden geplaatst (“Donau”). Erreur : source de la référence non trouvée

Ten opzichte van de horizontale configuratie zullen de andere configuraties in figuur 49 een lagere intensiteit van de magnetische veldsterkte opwekken op een grotere afstand van de lijn. Een horizontale configuratie heeft een piek die is hoger dan bij de compacte configuratie en velden dalen slechts even traag als de Donau-configuratie.

Er zal een afweging moeten worden gemaakt tussen de totale hoogte van de mast en de grootte van de intensiteit van de magnetische velden naast de lijn.

→ **Figuur 50**
Magnetische velden bij verschillende mastconfiguraties





→ **Figuur 51** Magnetische velden bij kabel- en lijnoplossingen

8.4.1.2 Kabel

Zowel een kabel als een lijn genereren magnetische velden, maar ondergrondse kabels genereren geen elektrische velden omdat deze velden worden tegengehouden door de geaarde mantel van de kabel. Het magnetisch veld dat door een ondergrondse kabelverbinding opgewekt wordt, hangt in principe alleen af van de stroom die er door vloeit en de opstelling van de geleiders. De opstelling zelf hangt af van hun relatieve onderlinge positie. Hoe kleiner de afstand tussen de assen van de vermogensgeleiders is, hoe zwakker het gegenereerde magneetveld zal zijn. Daarnaast verschilt het magnetisch veldprofiel van een bovengrondse hoogspanningsverbinding duidelijk met een ondergrondse verbinding.

Om het transportvermogen van een kabel evenwel te optimaliseren, worden de verschillende fasen van een kabel op een zekere afstand horizontaal uit elkaar geplaatst. Als de 380kV kabels in klaverbladconfiguratie (tegen elkaar) geplaatst zouden worden, zou de onderlinge opwarming te groot worden, waardoor de transportcapaciteit sterk afneemt. Een tussenafstand van 1 m zorgt ervoor dat er voldoende tussenruimte is voor de evacuatie van de warmte in de grond.

Deze laatste opstelling is, wat het opgewekt magnetisch veld betreft, minder gunstig dan de klaverbladopstelling, aangezien de magnetische velden minder goed gecompenseerd worden dan bij een plaatsing tegen elkaar in driehoek, zoals gebruikelijk voor lagere vermogens. In figuur 51 is een fictieve variant toegevoegd van de 220kV-oplossing[87], waarbij de kabels in driehoek zijn geplaatst (rode lijn, type A) in plaats van vlak (donkerrode lijn, nappe). Deze driehoeks- of klaverbladconfiguratie blijft echter fictief omdat de hierdoor opgewekte warmte rond te kabels te groot zou zijn om de gewenste transportcapaciteit van de kabels te behouden.

Ook bevinden de kabels zich op slechts één tot enkele meters onder de grond, terwijl een luchtlijn zich op het laagste punt een tiental meters boven de grond bevindt. Hierdoor is voor een 380kV-kabeloplossing (groene lijn) de grootte van het veld op grondniveau een stuk hoger dan bij een compacte luchtlijn (paarse lijn) De magnetische velden dalen wel veel sneller bij de kabeloplossing naarmate men verder verwijderd is van het centrum van de lijn- of kabelverbinding.

Magnetische velden zijn evenredig met de elektrische stroom. De spanning heeft geen rechtstreekse invloed op deze velden. Op

87 Deze oplossing werd niet weerhouden omdat hiermee kan de gevraagde 6,6 GVA niet bereikt kan worden.

220kV is de totale elektrische stroom voor een zelfde vermogen bijna 1,8 keer hoger. In onze case vertaalt zich dat naar extra pieken in figuur 51 (vier extra circuits) en de hoogste piek is bovendien 7% hoger. Een 380 kV kabelverbinding heeft dus een gunstiger profiel voor het magnetisch veld dan een 220 kV kabelverbinding (lagere pieken, minder pieken en smallere corridor).

8.4.1.3 GIL

Circulatiestromen zijn vrij mogelijk in de aluminium behuizing van de GIL. Deze genereren een tegengesteld magnetisch veld aan dat van de stroom door de geleider. Er zijn daarom nauwelijks elektromagnetische velden rond een GIL.

8.4.2 DC-technologie

Enkel een continu magnetisch veld wordt opgewekt, vergelijkbaar met het magnetisch veld van de aarde.

8.5 BROEIKASGASEMISSIES

8.5.1 Elektrische verliezen

Zoals vermeld in de beschrijving van de criteria, wordt er rekening gehouden met een uitstoot over de levensduur van een verbinding van 100g CO_2 per kWh. Bij het transporteren van energie door de installaties zal een deel van de energie verloren gaan door warmteverliezen. In de economische analyse hebben we reeds de elektrische verliezen bepaald. Op basis van deze verliezen kan de uitstoot van de verbinding berekend worden. De resultaten van deze berekening worden hieronder gegeven.

	AC	DC
Luchtlijn	6,5	23-24
Kabel	16	25-26
GIL	47	—

↓ **Tabel 8**
CO_2-uitstoot voor de verbinding (in 1000 ton CO_2/jaar voor een verbinding van 75km)

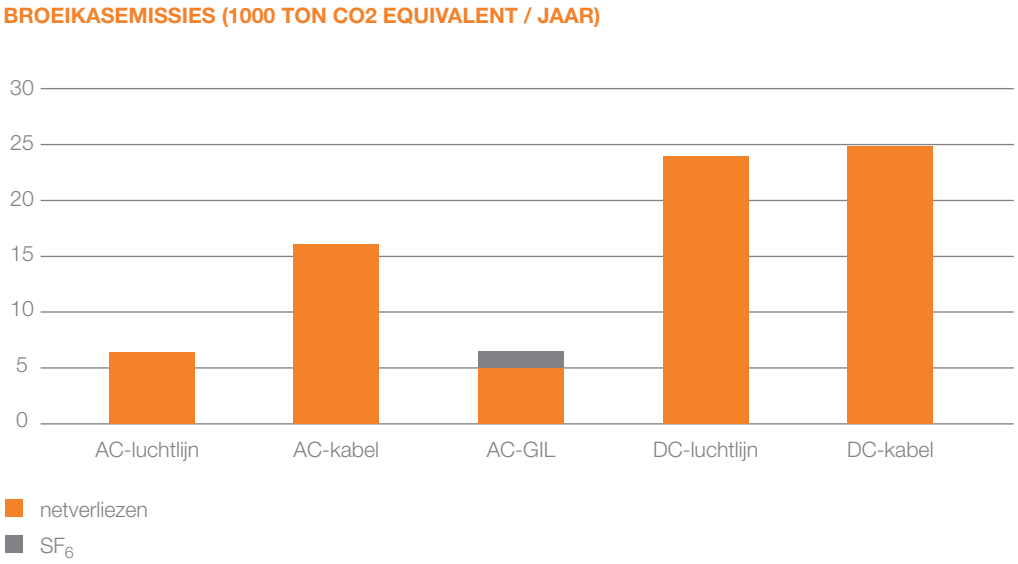
8.5.2 SF_6

Een GIL is gevuld met 80% CO_2 en 20% SF_6. In normale omstandigheden komen deze gassen niet in de atmosfeer terecht, doordat de buizen hermetisch afgesloten zijn van de buitenwereld. Men mag echter het risico van het gebruik van SF_6 niet onderschatten, aangezien het aardopwarmingsvermogen of GWP (Global Warming Potential) van dit gas 22.800 keer hoger ligt dan dat van CO_2.

Rekening houdend met het volume van de buizen, bevat 1km systeem naar schatting 5 ton SF_6 . Dit betekent 750 ton SF_6 voor een dubbel systeem van 75 km of een equivalent van 17 miljoen ton CO_2.

Ondanks dat de buizen van de GIL aan elkaar gelast worden, is een beperkt lekpercentage onvermijdelijk. Indien we dit lekpercentage schatten op <0,01%, komt dit neer op een equivalente CO_2-uitstoot van 1700 ton per jaar, hetgeen ongeveer één derde is van de uitstoot door verliezen.

Ook andere elektrische installaties kunnen SF_6 bevatten, zoals bijvoorbeeld GIS. Het volume SF_6 hiervan is echter verwaarloosbaar in deze vergelijking.



→ **Figuur 52**
Overzicht van de verschillende broeikasgasemissies van de verschillende technologieën

Tegenwoordig zijn er op de markt alternatieven voor SF_6 beschikbaar. De enige GIL-fabrikant, Siemens, zou ook een SF_6-vrije oplossing bestuderen, maar tot op heden hebben we geen garantie dat dit op de markt zal komen en wanneer. Zelfs als dit over enkele jaren op de markt zou komen, is het wenselijk om eerst een pilootproject uit te voeren alvorens dit te gebruiken voor lange verbindingen in de backbone van Elia, waardoor dit te laat zal komen voor onze use case.

Ter informatie: General Electric biedt momenteel op 380kV een GIB aan met de alternatieve gasmengeling “g³”. Hiermee ligt de equivalente hoeveelheid CO_2 meer dan 10 keer lager. De verbindingen zijn evenwel niet gelast, waardoor het lekpercentage veel hoger ligt, typisch rond 0,1% per jaar. De uitstoot zal hierdoor van dezelfde grootteorde zijn als onze schattingen voor de GIL met SF_6.

IX
380-19

Hybride systemen

9.1 | Technologie voor plaatselijk ondergronds brengen van AC-luchtlijn
9.1.1 | DC-kabels
9.1.2 | AC-GIL
9.1.3 | 220kV-kabels
9.1.4 | 380kV-kabels
9.2 | Afstand van de ondergrondse AC-kabelverbinding
9.2.1 | Beperkt overgangsstation
9.2.2 | Volledig overgangsstation
9.2.3 | Hoeveel keer ondergronds?
9.3 | Conclusie

TECHNOLOGIESTUDIE
Februari 2019

IX Hybride systemen

In de vorige hoofdstukken bestudeerden we de technologie voor de volledige use case. Daaruit bleek dat de AC-luchtlijn zowel technisch als economisch de enige technologie is die geschikt is voor de volledige verbinding. Er is echter een evolutie bij AC-luchtlijnen nl. dat bepaalde delen van de verbinding ondergronds gebracht kunnen worden. Bij het ondergronds brengen van de AC-technologie dient er echter wel rekening gehouden met enkele belangrijke technische factoren die een impact zullen hebben op de maximale lengte voor het ondergronds brengen. Uiteraard spelen ook economische aspecten alsook een impact op de omgeving.

In dit hoofdstuk wordt een antwoord geboden op verschillende vragen die zich stellen wanneer men spreekt over het ondergronds brengen van een AC-luchtlijn, meer bepaald:

- met welke technologie wordt er ondergronds gegaan;
- wat is de maximale afstand om ondergronds te brengen bij de use case;
- hoeveel keer kan er ondergronds gegaan worden?

Deze vragen worden hieronder geanalyseerd op basis van een technische analyse maar ook het economische aspect alsook de impact op het milieu en de omgeving worden toegelicht.

9.1 TECHNOLOGIE VOOR PLAATSELIJK ONDERGRONDS BRENGEN VAN AC-LUCHTLIJN

Er zijn drie technologieën die we in overweging kunnen nemen om voor beperkte lengtes ondergronds te gaan: DC-kabels, AC-GIL en AC-kabels. Hieronder volgt de beschrijving van de combinatie van de AC-luchtlijn met elk van deze technologieën.

9.1.1 DC-kabels

In theorie kan men een AC-luchtlijn laten overgaan naar een DC-kabel. Uit voorgaande hoofstukken is gebleken dat de meeste bezwaren rond de DC-technologie verband houden met de conversiestations en dit zowel technologisch, economisch als naar milieu en omgeving toe. Deze conversiestations blijven in deze oplossing bestaan. Plaatselijk ondergronds gaan met DC-kabels is dus niet zinvol.

9.1.2 AC-GIL

De ervaring met GIL is zeer beperkt, ook voor korte lengtes. Er zijn slechts enkele projecten en deze gaan tot lengtes van +/- 1km. Ook blijft het feit dat slechts één leverancier deze technologie kan leveren. De use case heeft echter betrekking op onze backbone en het is dan ook niet wenselijk om risico's te nemen door niet mature technologieën, met potentieel langdurige onbeschikbaarheid, in deze verbinding te integreren. AC-GIL wordt bijgevolg ook niet geschikt geacht voor gebruik binnen de use case.

→ **Figuur 53**
Overgangsstation Gezelle in Brugge

9.1.3 220kV-kabels

Het gebruik van korte kabelstukken 220kV is niet zinvol omdat dan telkens aan beide zijden een omvangrijk transformatiestation nodig is. Net zoals voor de conversiestations bij DC-kabels is ook aan deze transformatiestations de grootste technische, economische en omgevingsimpact gelinkt.

9.1.4 380kV-kabels

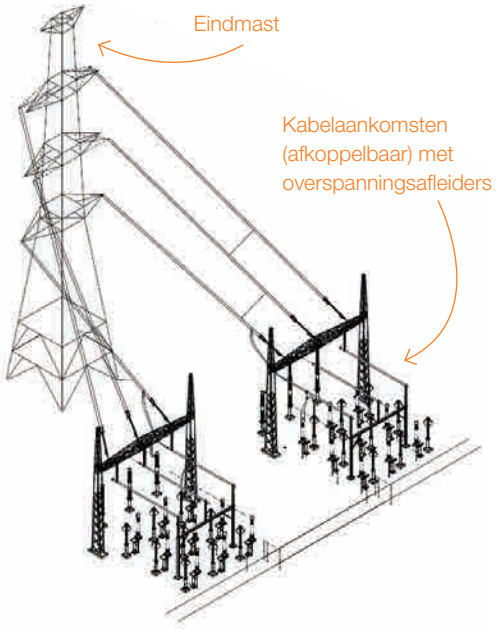
In vergelijking met de voorgaande alternatieven zijn 380kV-kabels de beste technologie om plaatselijk ondergronds te gaan. Ze kunnen echter maar voor een beperkte lengte gebruikt worden. Dit zal in de volgende paragraaf verder worden uitgeklaard.

9.2 AFSTAND VAN DE ONDERGRONDSE AC-KABELVERBINDING

Op de plaats van de overgang van een bovengrondse naar een ondergrondse hoogspanningsverbinding is een overgangsstation nodig. Dit kan een beperkt overgangsstation zijn, waarbij de elektrische toestellen tot een minimum worden beperkt, of een volledig overgangsstation, waarbij elke luchtlijn en elk kabel circuit afzonderlijk schakelbaar is. De oplossing met een beperkt en een volledig overgangsstation wordt hieronder geanalyseerd volgens de gekende criteria nl. technisch, economisch en impact op milieu en omgeving.

9.2.1 Beperkt overgangsstation

In dit geval worden telkens drie kabelcircuits rechtstreeks met één draadstel van de luchtlijn verbonden zonder dat ertussen schakelmaterieel wordt geplaatst. Er ontstaan zo twee verbindingen van eindstation tot eindstation van elks 3GW. De belangrijkste elementen zijn de eindmast alsook de structuren voor de lijnafdaling en een beperkt aantal hoogspanningstoestellen. Onderstaande figuur toont een concreet ontwerp.



↓ **Figuur 54**
Ontwerp van overgangsstation

→ Technisch

Doordat telkens drie kabelcircuits vast verbonden zijn met een draadstel van de luchtlijn, kan de verbinding nog steeds als één verbinding worden beschouwd alsook worden beheerd. Hierdoor is de **complexiteit** in normale uitbating **gelijkaardig aan deze van een gewone luchtlijn**.

Naar **betrouwbaarheid** blijft het aantal falingen per kilometer kabeltraject ongewijzigd. Bij het verlies van een verbinding zal dit zoals bij de luchtlijn 3GW zijn en zal bovendien het aantal dagen dat het kabelgedeelte onbeschikbaar is met een factor 3 omhoog gaan. Dit kan gedeeltelijk gemitigeerd worden door de afzonderlijke kabels, zoals voorzien in het ontwerp op figuur 54.

Met betrekking tot de **maturiteit** stellen we vast dat er een (beperkte) ervaring is met luchtlijnen met korte kabellengtes tot ongeveer twee maal 40km circuitlengte[88].

→ Economisch

Vanuit **economisch** standpunt gezien is de kost voor een beperkt overgangsstation zeer beperkt (grootte-orde een paar M€). Belangrijker is de kost per kilometer ondergronds kabeltraject. Inclusief de reactieve compensatie bedraagt deze 14,4M€ per kilometer tegenover 1,8M€ voor de luchtlijn, ofwel een meerkost van 12,6M€ per kilometer.

→ Impact op de omgeving

De impact op de **grondinname** is ook beperkter dan bij een volledig overgangsstation en is beperkt tot ongeveer een halve hectare (exclusief eindmast) langs elke zijde.

→ Maximale afstand ondergronds

Om de afstand te bepalen voor het ondergronds brengen van de verbinding dienen verschillende technische aspecten in rekening te worden gebracht.

Bij het **berekenen van resonanties** dienen ondergrondse delen in het naburige net in rekening te worden gebracht. Van zodra er meer ondergrondse delen zijn, wordt het ook steeds moeilijker om de resonanties te berekenen en te voorspellen. Voor de use case moet rekening gehouden worden met de 40km technische kabellengte van de Stevin-verbinding en de verschillende 220kV offshore kabels naar de windmolenparken op de zee.

De **spanning** zal ook onder controle moeten worden gehouden bij het ondergronds brengen van de verbinding. Het 380kV-net kan spanningen aan tot maximaal 420kV en indien de spanning boven 420kV komt, kan er een doorslag (kortsluiting) ontstaan in de hoogspanningstoestellen. Momenteel bereiken we in het Elia-net regelmatig spanningen van 410kV en soms zelfs meer. De spanningsstijging over een verbinding mag daarom **nooit meer dan 10kV bedragen** (aan het begin van de verbinding is de spanning lager dan op het einde en het verschil mag niet meer dan 10kV zijn) en zelfs dan zullen in sommige gevallen maatregelen genomen moeten worden om de spanning te laten dalen.

Bij het inschakelen van een verbinding met daarin de sets van kabels zullen er **spanningssprongen** plaatsvinden alsook **spanningsstijgingen** wanneer er slechts één zijde is ingeschakeld. Interne berekeningen hebben aangetoond dat voor verbindingen tussen 50km en 100km, het ondergronds gedeelte **moet beperkt blijven tot een totaal van maximaal 8km trajectlengte per use case** wat overeenkomt met **48km circuitlengte** om in alle gevallen de spanningsstijging te kunnen beperken tot 10kV.

Spanningssprongen kunnen beperkt worden door shuntreactoren rechtstreeks op de lijn te plaatsen. Zoals geschreven in §4.1.2 kan maar 80% van de kabel rechtstreeks op de verbinding gecompenseerd worden. Dit moet ook gelden indien één kabel *of verbinding* is afgekoppeld voor een herstelling. Hierdoor zullen we in ons geval slechts iets meer dan 50% kunnen

88

Circuitlengte : totale lengte van alle circuits. Bijvoorbeeld: een traject van 1 km met 6 parallelle circuits geeft 6 km circuitlengte.

compenseren. Dit is bij een verbinding van 50 tot 100km met 8km ondergrondse kabels voldoende om de spanningssprongen te beperken tot onder de strengste limieten (<3%).

In de eindstations zullen nog steeds een aantal shuntreactoren moeten worden geplaatst, pro rata de lengte die ondergronds wordt geplaatst. Bij 8km ondergronds zal aan elk uiteinde van elke verbinding een shuntreactor van 75Mvar rechtstreeks op elk uiteinde van de verbinding moeten worden geplaatst. Bovendien zal in elk eindstation ook een shuntreactor van 130Mvar op een afzonderlijk schakelveld moeten worden geplaatst.

Door het kabeltraject te beperken tot maximaal 8km wordt ook het risico van de resonanties beperkt tot een aanvaardbaar niveau. Niettemin zullen er echter voor elk concreet geval een aantal studies uitgevoerd moeten worden om de haalbaarheid te bevestigen, waarbij ook de ondergrondse delen in het omliggende net in rekening moet worden gebracht.

Bovendien zal aandacht moeten geschonken worden aan de wisselwerking tussen de (capacitieve) kabels en de (inductieve) luchtlijn en shuntreactoren. Dit zal onder andere een impact hebben op de beveiliging van de verbinding. Sommige beveiligingsrelais[89] zullen namelijk niet correct werken.

Rekening houdend met de technische limieten en risico's is **een kabeltraject tot maximum 8km in totaal per use case** mogelijk. Toch zullen er in dit geval nog steeds grote technische vraagtekens blijven die in detail onderzocht moeten worden. In vergelijking met de Stevin-verbinding waarbij in totaal 40km kabelcircuit ondergronds werd gebracht (over een afstand van 10km) zou dit voor elke use case een totaal van 48km ondergrondse kabel impliceren (nl. 6 circuits x 8km) over een totale afstand van 8km.

89 Met name de afstandsbeveiliging

9.2.2 Volledig overgangsstation

Indien het ondergrondse deel van de verbinding een bepaalde lengte overschrijdt, dient er een overgangsstation geplaatst te worden, zodat elk kabelcircuit afzonderlijk in en uitgeschakeld kan worden. De spanningsstijging over de kabel, hetgeen de limiterende factor was in vorige paragraaf, gaat hierdoor minder snel.

Wel stijgt hierdoor de complexiteit sterk en voegen we veel extra onderdelen toe aan het systeem met elk een kans op falen.

Om de effecten in verband met resonanties te analyseren, moet niet enkel naar de verbinding zelf gekeken worden maar ook naar het omliggende net. Indien we de maximale lengte ondergronds uit vorige paragraaf (8km) toepassen op beide projecten beschreven in hoofdstuk 3, geeft dit reeds 48km circuitlengte per project. In de buurt van deze projecten bevindt zich ook de 40km circuitlengte van de Stevin-as en enkele 220kV offshore kabelverbindingen naar de windmolenparken. Hiermee komen we reeds tot boven het gebied met ervaring uit. Er is geen enkele maturiteit voor nog langere kabellengtes (gerekend in circuitlengte). Dat is de enige reden waarom we volledige overgangsstations zouden bouwen. Doordat in de overgangsstations elk element afzonderlijk kan in- of uitgeschakeld worden, zijn er bijkomend zeer veel combinaties van inductieve en capacitieve stromen mogelijk waardoor de resonanties quasi onmogelijk te voorspellen worden en de risico's nog verder worden verhoogd.

Vanuit **economisch** standpunt dient er voor elk bijkomend onderstation ook een kost van 15M€ te worden voorzien. Vermits er telkens 2 onderstations nodig zijn, betekent dit per keer dat er ondergronds gegaan wordt een **meerkost** van ongeveer **30M€**. Net als bij de beperkte onderstations komt daarboven de meerkost van kabels ten opzichte van een luchtlijn (12,7M€ per kilometer).

Naar impact op **milieu en omgeving** stellen we vast dat het onderstation voor de use case ongeveer **4 à 5ha** in beslag zal nemen[90]. Dit is dan opnieuw te vermenigvuldigen met twee vermits we langs beide kanten een onderstation moeten plaatsen.

Tot op heden is er maar **één AC-verbinding** waarbij voor de overgang van luchtlijn naar kabel met volledige onderstations gewerkt wordt, nl. de Stevin-verbinding. In dat specifiek geval kon men het aantal parallelle kabelcircuits terugbrengen van zes naar vier, hetgeen de verschillende nadelen van een volledig onderstations compenseerde. Dit voordeel gaat echter niet op in onze use case.

Zowel technisch, economisch als naar de omgeving toe hebben volledige overgangsstations een negatieve impact ten opzichte van beperkte overgangsstations. Bovendien is er geen ervaring met meer ondergrondse kabels (gerekend in circuitlengte) dan wat mogelijk is met beperkte overgangsstations, hetgeen de enige reden was waarom we volledige overgangsstations zouden plaatsen.

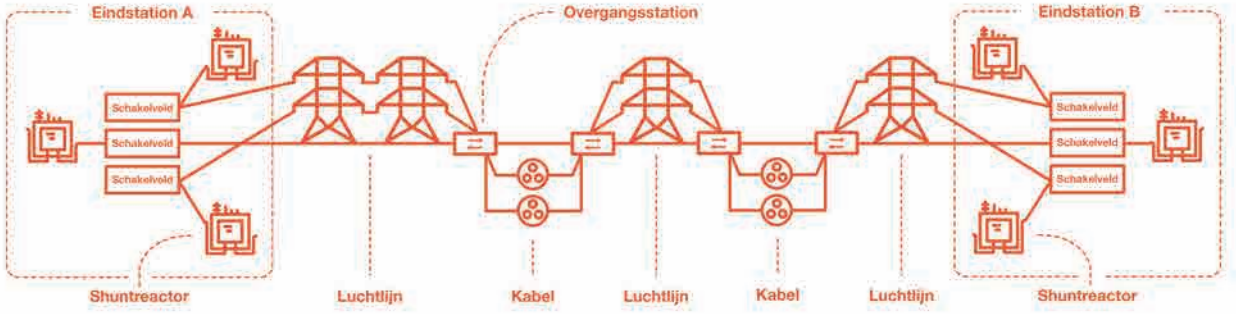
Gelet op de bovenstaande argumenten leidt dit tot de conclusie dat er geen reden is om met volledige onderstations te werken voor de use case.

9.2.3 Hoeveel keer ondergronds?

Hierboven wordt gesteld dat het totale kabeltraject maximaal 8km per use case is. Dit kan één keer 8km zijn maar er is ook een mogelijkheid dat de 8km opgedeeld wordt. Er dient echter wel benadrukt te worden dat elke keer men ondergronds gaat er wel een lijn-kabel-transitie gerealiseerd moet worden wat de kans op een faling steeds verhoogt.

Vanuit technisch standpunt is het dus te verkiezen om het aantal keer ondergrondse verbindingen te beperken tot 1 of maximaal 2 voor elke use case.

90 Dit wordt zelfs een twintigtal hectares indien we AIS-materieel gebruiken.



↑ **Figuur 55** Maximale mogelijke ondergrondse oplossing

9.3 CONCLUSIE

Een luchtlijn met een beperkt gedeelte uitgevoerd in AC-kabel is technisch mogelijk, maar niet wenselijk binnen de backbone van het 380kV net. Met elke kilometer die ondergronds wordt geplaatst stijgt namelijk het aantal falingen, het risico op resonanties en de kostprijs.

Rekening houdend met de technische limieten en risico's is **een kabeltraject tot maximum 8km in totaal per use case** mogelijk. Indien toch stukken ondergrondse kabels wenselijk zijn, is het sterk aan te raden om zich te beperken tot een luchtlijn met 1 of maximaal 2 korte kabelstukken, waarbij geen tussenstations nodig zijn.

De maximumlengte die ondergronds kan, zal steeds moeten gevalideerd worden aan de hand van een aantal studies waarbij ook AC-kabels in het naburige net mee in beschouwing moeten genomen worden.

Onderstaande figuur geeft schematisch de maximale oplossing weer.

Conclusie

De technologiestudie geeft een overzicht van technologieën die vandaag bestaan en bestudeert hun toepasbaarheid voor de use cases (“Ventilus” of “Boucle du Hainaut”) aan de hand van technische en economische criteria. Ook de impact ervan op het milieu en de omgeving wordt beschreven.

Uit de analyse komt duidelijk naar voor dat niet alle bestaande technologieën toepasbaar zijn op de use case. De AC-luchtlijn zowel technisch als economisch **de enige redelijke technologie is voor deze verbindingen**. Op de technische criteria scoort deze technologie goed: een hoge maturiteit alsook betrouw- en beschikbaarheid en eenvoudig te integreren in het bestaande Belgische maar ook Europese elektriciteitsnet. Verder biedt deze technologie ook de nodige flexibiliteit om toekomstige noden in te vullen zoals ondersteuning van de lokale elektriciteitsnetten voor lokale groei en aansluiting van decentrale productie. Bijkomend brengt deze gekende technologie ook weinig bijkomende risico’s met zich mee voor de efficiënte en veilige uitbating van het elektriciteitsnet. Ook op economisch vlak scoort de AC-luchtlijn met groot verschil het best, zowel naar onderhouds- en investeringskosten. Er is weliswaar een impact op het milieu en de omgeving en het visuele aspect speelt hierbij een belangrijke rol.

Naast de AC-luchtlijn wordt ook de AC-kabel geanalyseerd voor het volledige traject. Op basis van de technische criteria (maturiteit en impact op netuitbating) is deze technologie technisch niet haalbaar voor de use case. Er is tot op heden geen kennis voorhanden over hoe deze kabels zich zullen gedragen in het elektriciteitsnet en zodoende kan hier een stabiele uitbating van het net niet gegarandeerd worden.

Verder worden de DC-technologieën beschreven. Uit analyse blijkt dat deze niet geschikt zijn voor de beschouwde verbindingen omwille van verschillende redenen: risico’s op netfenomenen, een lagere beschikbaarheid, te weinig flexibiliteit om aftakkingen (o.a. verbindingen met lokale netten) te realiseren. Naast het technische aspect is er ook nog de kostprijs die ongeveer 10 keer hoger ligt dan deze van de AC-luchtlijn. Er dient bij een DC-technologie ook een aanzienlijke oppervlakte te worden voorzien voor de conversiestations.

Ook worden de GIL en de supergeleiders geanalyseerd en dit zowel in AC- en DC-uitvoering. Deze technologieën staan echter nog in de kinderschoenen. Het is niet verantwoord om voor de belangrijkste verbindingen van het land een niet mature technologie toe te passen waarover vandaag nog een zeer beperkte kennis is.

Voor de **volledige verbinding** is het dus duidelijk dat de **enige redelijke technologie een AC-luchtlijn** is, ook indien PST’s moeten bijgeplaatst worden om een beperkte sturing van de stromen mogelijk te maken. Het **ondergronds brengen** van een deel van de AC-luchtlijn **kan** met AC-kabels met **extra technische risico’s** en een belangrijke **meerkost** (12,6M€/km + overgangsstations). De AC-kabels hebben ook een **impact op milieu en omgeving**, meer bepaald wegens geluid (shunt reactoren) en grondinname.

De afstand bij gedeeltelijke verkabeling wordt bepaald door technische limieten die gebaseerd zijn aan de spanningsstijgingen die beperkt moeten worden en de beheersbaarheid van neteffecten (dynamische effecten of resonanties). De combinatie hiervan leidt tot een afstand van 8 km geografische trajectlengte equivalent aan 48 km kabelcircuit per use case. Het is immers het aantal effectieve km kabel dat ondergronds wordt geplaatst dat bepalend is voor het gedrag van de kabel in het elektriciteitsnet. De 8 km ondergronds wordt best zo weinig mogelijk opgesplitst en in één tot twee keer per use case gerealiseerd om een verhoogde faalkans te vermijden.

XI

Lijst met afkortingen

- **AC**
  Alternating Current – wisselstroom
- **AIS**
  Air Insulated System
- **AREI**
  Algemeen Reglement op Elektrische Installaties - vastgelegd door het koninklijk besluit van 10 maart 1981.
- **DC**
  Direct Current – gelijkstroom
- **GIB**
  Gas Insulated Bus duct
- **GIL**
  Gas Insulated Line
- **GIS**
  Gas Insulated Switchgear
- **GWP**
  Global Warming Potential
- **LCC**
  Line Commutated Converter
- **PST**
  Phase Shifting Transformer
- **VSC**
  Voltage Source Converter
- **XLPE**
  Cross-linked of vernette polyethyleen

Advies over de technologiestudie uitgevoerd door Elia

Elia heeft een technologiestudie uitgevoerd om na te gaan welke opties in acht genomen moeten worden voor een geplande versterking van het binnenlandse transmissienet. Het gaat meer bepaald over twee trajecten van ± 75 km waarvoor een vermogen van 6 GW nodig is. Gegeven de snelle verandering van de energiestromen als gevolg onder meer van de energietransitie waardoor zowel de aard (intermitterend) als de plaats (aan de kust en op zee) van de productie een geheel ander karakter krijgt, zijn beide trajecten nodig op korte termijn (realisatie voor 2026-2028 volgens het netontwikkelingsplan).

Het vereiste hoge vermogen impliceert een verbinding op hoogspanning. In de studie zijn er verschillende technologische opties weerhouden voor verder onderzoek, elk met voor- en nadelen. Zowel bovengrondse als ondergrondse opties werden hierbij meegenomen, zowel bij wisselstroom- als gelijkstroom (AC en DC). Hierbij werden DC Gas Insulated Lines (GIL) en supergeleidende kabels niet in detail onderzocht gezien de beperkte technologische maturiteit. Ook klassieke, Line Commutated Converter High Voltage Direct Current (LCC HVDC) technologie werd niet in detail verder bestudeerd, gezien de technische implicaties die het gebruik van deze technologie met zich meebrengt zeker voor in de specifieke Belgische transmissienetcontext met beperkte afstanden.

5 technologische opties werden in detail onderzocht:

- AC luchtlijnen
- AC kabels
- AC GIL
- VSC HVDC luchtlijnen
- VSC HVDC kabels

Ten slotte werd er ook een combinatie bestaande uit luchtlijnen + kabels bij wisselstroom onderzocht.

Binnen de technische analyse werd er specifiek aandacht besteed aan volgende aspecten:

- Integratie in het netwerk
- Gevolgen voor de betrouwbaarheid van het systeem
- Aantal circuits
- Omgevings- en milieuaspecten
    - Grondgebruik
    - Visuele impact
    - Geluidshinder

- Magnetische velden
- Broeikasgasemissies

Voorts werd er een kosten-batenanalyse uitgevoerd op basis van actuele economische gegevens.

De evaluatie werd gedaan op basis van volgende criteria

- Betrouwbaarheid & beschikbaarheid
- Impact op de netuitbating
- Maturiteit
- Mogelijkheden voor aftakkingen

De studie gedaan door Elia bevat alle relevante topics en geeft een goed overzicht van de huidige stand van zake en de mogelijkheden in de nabije toekomst van verschillende technologieën en is compleet.

De studie resulteert in de keuze voor AC-luchtlijnen als de meest geschikte oplossing voor de verbindingen die bestudeerd worden. Alle andere technologie-opties resulteren in extra complexiteit, onzekerheid en risico's. Als gekozen zou worden om deze ondergronds te brengen zal dit omwille van de aangehaalde technische risico's voor de netuitbating in alle gevallen moeten onderzocht worden. Deze risico's nemen toe met de afstand van het ondergrondse tracé en zijn afhankelijk van het omliggende net. De resultaten bekomen door Elia resulteren in een maximale ondergrondse lengte van acht kilometer voor deze projecten.

Bovendien volgt uit de economische studie dat de AC-luchtlijn als meest economische optie naar voor komt, en dit met een significant verschil.

Gegeven het tijdsbestek van deze netinvesteringen (doorlooptijd van een transmissie-investering is 7-10 jaar), dienen de investeringen uitgevoerd worden met technologie die vandaag beschikbaar is.

Gegeven deze achtergrond, zijn wij van mening dat de keuze voor AC-luchtlijnen gegrond is. Indien er een gedeelte van de verbinding ondergronds uitgevoerd moet worden, dan stijgen de risico's snel met de lengte. Elia heeft bestudeerd dat de maximale lengte acht kilometer is voor deze specifieke projecten. Wij zijn mening dat deze maximaal haalbare waarde realistisch is, waarna de problemen snel zullen toenemen. Dit zou onaanvaardbaar zijn op het internationale transmissienet.

DC-technologieën en GIL zijn beschikbare alternatieven maar voor de uit te voeren projecten en gegeven de tijdslijn die wordt voorgesteld, niet relevant.

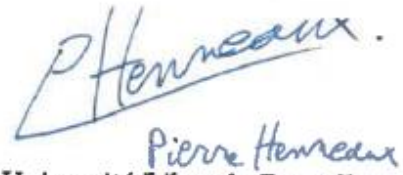
De studie toont ook dat bij de andere onderzochte technologie-opties sterke verbeteringen voorzien zijn in de verdere toekomst, maar hierbij zijn er ook nog een technische beperkingen en onzekerheden die op dit ogenblik nog een risico vormen voor Elia en in het bijzondere deze projecten. Deze technische beperkingen zijn op dit moment nog doorslaggevend. Desalniettemin zullen de ontwikkelingen op het gebied van ondergrondse kabels en HVDC technologie zich voortzetten, en wordt er aangedrongen om binnen Elia deze aspecten in detail te blijven onderzoeken. Als academici zijn wij bereid hier actief aan mee te werken.

Université de Mons
Prof. François Vallee
Department of Electrical Engineering

KU Leuven & EnergyVille
Prof. Ronnie Belmans
Prof. Dirk Van Hertem
Department of Electrical engineering
Electa division

Université Catholique de Louvain
Prof. Emmanuel De Jaeger
Electrical Energy Systems

Universiteit Gent
Prof. Jan Desmet
Dep. Electrical Energy, Metals,
Mechanical Constructions and Systems



Université Libre de Bruxelles
Prof. Pierre Henneaux
BEAMS department
Electrical Energy group

MOTT MACDONALD

Elia Future Grid 2030

Stevin-Avelgem and Avelgem-Center Power Corridor
Technology Review and Benchmarking Study

05 March 2019

Elia Engineering SA

Mott MacDonald
Victory House
Trafalgar Place
Brighton BN1 4FY
United Kingdom

T +44 (0)1273 365000
F +44 (0)1273 365100
mottmac.com

Elia Engineering SA
Leon Monnnoyer 3
B-1000 Brussels

Elia Future Grid 2030

Stevin-Avelgem and Avelgem-Center Power Corridor
Technology Review and Benchmarking Study

05 March 2019

Mott MacDonald Limited. Registered in England and Wales no. 1243967.
Registered office: Mott MacDonald House, 8-10 Sydenham Road, Croydon CR0 2EE, United Kingdom

Issue and Revision Record

Revision	Date	Originator	Checker	Approver	Description
A	11/12/18	P Lear C Blair B Barrett	P Fletcher	P Fletcher	First issue
B	20/12/18	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Second issue
C	05/03/19	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Final issue

Document reference: 403182 | 01 | C

Information class: Standard

This Report has been prepared solely for use by the party which commissioned it (ELIA) in connection with the captioned project. It should not be used for any other purpose. No person other than the ELIA or any party who has expressly agreed terms of reliance with us (the 'Recipient(s)') may rely on the content, information or any views expressed in the Report. This Report contains proprietary intellectual property and we accept no duty of care, responsibility or liability to any other recipient of this Report. No representation, warranty or undertaking, express or implied, is made and no responsibility or liability is accepted by us to any party other than ELIA or any Recipient(s), as to the accuracy or completeness of the information contained in this Report. For the avoidance of doubt this Report does not in any way purport to include any legal, insurance or financial advice or opinion.

We disclaim all and any liability whether arising in tort, contract or otherwise which we might otherwise have to any party other than ELIA or the Recipient(s), in respect of this Report, or any information contained in it. We accept no responsibility for any error or omission in the Report which is due to an error or omission in data, information or statements supplied to us by other parties including ELIA (the 'Data'). We have not independently verified the Data or otherwise examined it to determine the accuracy, completeness, sufficiency for any purpose or feasibility for any particular outcome including financial.

Forecasts presented in this document were prepared using the Data and the Report is dependent or based on the Data. Inevitably, some of the assumptions used to develop the forecasts will not be realised and unanticipated events and circumstances may occur. Consequently, we do not guarantee or warrant the conclusions contained in the Report as there are likely to be differences between the forecasts and the actual results and those differences may be material. While we consider that the information and opinions given in this Report are sound all parties must rely on their own skill and judgement when making use of it.

Information and opinions are current only as of the date of the Report and we accept no responsibility for updating such information or opinion. It should, therefore, not be assumed that any such information or opinion continues to be accurate subsequent to the date of the Report. Under no circumstances may this Report or any extract or summary thereof be used in connection with any public or private securities offering including any related memorandum or prospectus for any securities offering or stock exchange listing or announcement.

By acceptance of this Report you agree to be bound by this disclaimer. This disclaimer and any issues, disputes or claims arising out of or in connection with it (whether contractual or non-contractual in nature such as claims in tort, from breach of statute or regulation or otherwise) shall be governed by, and construed in accordance with, the laws of Belgium to the exclusion of all conflict of laws principles and rules. All disputes or claims arising out of or relating to this disclaimer shall be subject to the exclusive jurisdiction of the Brussels courts to which the parties irrevocably submit.

Contents

1 Introduction 1

2 Context and Background 2

2.1 Introduction to Elia 2
2.2 Future Grid 2030 needs case 2
2.2.1 A power system in transformation 2
2.2.2 Elia's Federal Development Plan 2
2.2.3 Future Grid 2030 project 3
2.3 Elia's obligations 3
2.4 Power system basics 3
2.4.1 Description of a power system 4
2.4.2 Transmission and distribution grids 4

3 Power Corridor Technology Options 5

3.1 Technology options 5
3.2 Power corridor technical requirements 5

4 Comparison of Alternating Current (AC) Options 6

4.1 Cost Comparison of AC overhead line and AC underground cable 6
4.2 High voltage AC overhead line 6
4.2.1 Overhead line construction 6
4.2.2 Overhead line reliability and availability 8
4.2.3 Overhead line environmental considerations 9
4.2.4 Summary of overhead line key features 9
4.3 High voltage AC underground cable 9
4.3.1 Overview of cable systems 10
4.3.2 Underground cable construction 10
4.3.3 Underground cable electrical characteristics 14
4.3.4 Underground cable reliability and availability 14
4.3.5 Underground cable environmental considerations 15
4.3.6 Summary of underground cable key features 15
4.4 Partial undergrounding of HVAC overhead line 15
4.5 Gas insulated line 16
4.5.1 Gas insulated line reliability and availability 18
4.5.2 Gas insulated line environmental considerations 18
4.5.3 Gas insulated line conclusion 18
4.6 Superconducting cable 18

5 HVDC as an alternative to HVAC 19
5.1 HVDC technology review 20
5.1.1 Converter configurations 20
5.1.2 System configurations 21
5.2 Reliability and availability 22
5.3 Technical issues associated with HVDC 22
5.3.1 Facilitation of future grid connections 22
5.3.2 Power reversal 22
5.4 Key technology risks 23
5.5 Conclusion on HVDC as an alternative to HVAC 23

6 Benchmarking Study of Similar Projects in Europe 24
6.1 Research methodology 24
6.2 Summary of shortlisted projects 24
6.3 Flash cards 25

7 Global Trends 27

8 Glossary of technical terms and acronyms 29

Appendices 31

A. Project Flash Cards 32

1 Introduction

Elia Engineering has commissioned Mott MacDonald to carry out a review of technology options for high voltage electricity power corridors to include a benchmarking exercise of relevant projects within Europe. The review will also provide a view on general trends across the world.

This report introduces the available technologies and provides a summary of similar projects, including identifying drivers behind the choice of technologies.

2 Context and Background

2.1 Introduction to Elia

Elia owns and operates the Belgian high voltage electricity transmission grid. Assets include all Belgian 150 kV, 220 kV and 380 kV electricity grid infrastructure, and almost 94% of the grid infrastructure between 30 kV and 70 kV. Elia's grid is made up of 3,000 km of overhead line, 5,500 km of underground cable and 800 substations.

Elia's main activities:

- Managing infrastructure: Maintaining and developing the grid, as well as connecting electrical installations to the grid;
- Operating the electricity system: Granting access to the grid in a straightforward, objective and transparent way, providing full services for transporting electricity, monitoring flows on the grid to ensure that electricity runs smoothly and managing the balance between electricity consumption and production 24 hours a day;
- Facilitating the market: Developing initiatives to improve how the electricity market operates and making its infrastructure available to all market players in a transparent, non-discriminatory way. Elia develops services and mechanisms allowing the market to trade on different platforms, which promotes economic competitiveness and the wellbeing.

2.2 Future Grid 2030 needs case

2.2.1 A power system in transformation

The Belgian power system is going through a transformation.

Like many power systems across the world it has traditionally been dominated by a small number of very large, centralised thermal power plants.

Today's power system must incorporate energy produced from many power generation sources and technologies and there is increased international energy exchange. Elia's grid is a key link between France, Europe's largest electricity exporter, and markets in Northern Europe.

At the same time, Elia is facing the challenge of achieving an energy system which is sustainable, affordable and reliable. This is known as the "energy trilemma".

Substantial expansion and reinforcement of the Belgian grid is required to face today's challenges, and to support an increasing amount of generation from renewable sources in line with policy targets.

2.2.2 Elia's Federal Development Plan

Elia's Federal Development Plan covers a period of 10 years and is adapted and published every 4 years. It is developed in collaboration with the Federal Public Service Economy and the Federal Planning Bureau.

The 2020-2030 Federal Development Plan identifies capacity needs for the Belgian high voltage grid (150 kV, 220 kV and 380 kV) for the period between 2020 and 2030 and describes the investment program required to achieve the plan.

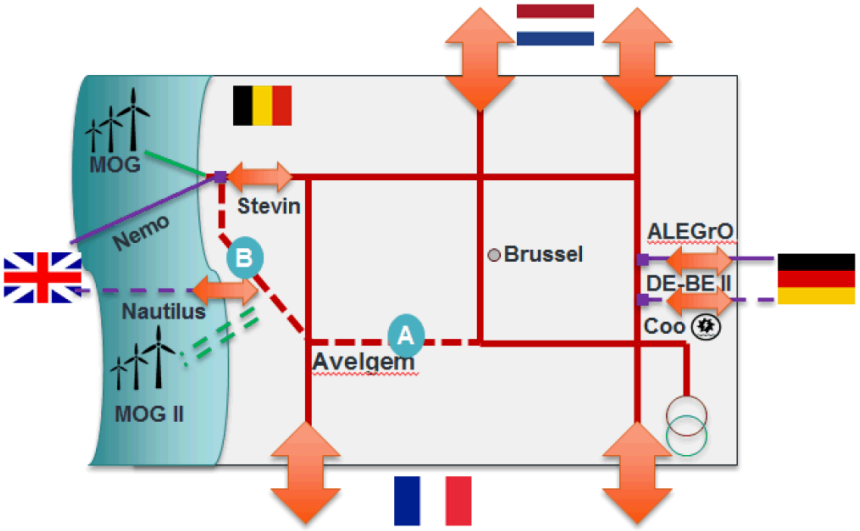
The plan includes the strengthening of the 380 kV transmission grid, the integration of additional offshore wind generation and the development of interconnections with other countries.

2.2.3 Future Grid 2030 project

The Future Grid 2030 project is included in the 2020-2030 Federal Development Plan:

- Creation of a new 6 GW (2 x 3 GW) connection between Stevin and Avelgem, the Stevin-Avelgem corridor
- Creation of a new 6 GW (2 x 3 GW) connection between Avelgem and the centre of the country, the Avelgem-Centre corridor

Figure 1: Future Grid 2030



Source: Elia

2.3 Elia's obligations

Each technology option should be considered in the context of Elia's statutory and regulatory obligations. The following obligations are considered for all new developments:

1. Safety – Compliance with all relevant safety standards
2. Reliability and availability – The extent to which the grid is available for operation, considering downtime for planned and unplanned outages.
3. Robustness and flexibility – The capability of the grid to withstand non-standard operating conditions and grid faults without loss of supply, and the provision for future grid connections and reinforcements.
4. Economic efficiency – Provision of a cost-effective solution which meets the project requirements while managing the lifetime cost of the development.

2.4 Power system basics

It is helpful to understand some basic historical and technical context about an electrical energy system, also known as an electrical power system.

2.4.1 Description of a power system

Since large amounts of energy cannot easily be stored, electricity must be produced as soon as it is needed. The grid must also be able to respond quickly to changing demand.

Electricity is produced by generators. Generators use a variety of fuel sources to produce electricity.

Traditionally, there have been a small number of large, centralised thermal power plants using coal, gas, oil and nuclear fuel sources. These plants are generally located far away from areas of high electricity demand.

In today's power system, large power plants generate electricity from renewable energy sources, and there are large international connections known as interconnectors.

There is an increasing number of smaller generators located closer to electricity demand, many of which use renewable sources such as wind and solar.

Large generators are connected to the national transmission grid, and smaller generators are connected to regional networks which operate at lower voltages, known as distribution grids.

2.4.2 Transmission and distribution grids

Transmission and distribution grids can be likened to a country's road system. Instead of vehicles, the grids carry electricity. The transmission grid is the equivalent of the national motorway system; the distribution grids are the equivalent of the regional minor road networks.

Electricity is transmitted in bulk quantity through the transmission grid and is stepped down to smaller, more manageable quantities for supply to consumers via distribution grids.

To carry large amounts of electricity efficiently over a long distance the voltage is raised, in the same way as the pressure of water is raised to carry volumes through a pipeline. Voltage can be considered a measure of the electrical pressure.

Transmission and distribution grids are made up of substations, overhead lines and underground cables. Substations control power flows and change the voltages between the transmission and distribution grids. Overhead lines and underground cables carry the power over distance between substations.

The basic electrical characteristics of a transmission circuit are typically described by its voltage in kilo-volts (kV) and its power rating in mega-Watts (MW) or giga-Watts (GW), where 1 GW is equal to 1000 MW. 1 MW is equal to 1000 kW. An electric kettle consumes about 2 kW of power.

Across the world, electrical power transmission is predominantly by high voltage alternating current (HVAC) . using overhead line technology. Underground cable technology is used in some circumstances.

High voltage direct current (HVDC) is used for specialist requirements and is increasingly playing an important part in transmission grids.

3 Power Corridor Technology Options

3.1 Technology options

This report considers the following high voltage power corridor technology options:

- Overhead lines
- Underground cables
- High voltage direct current (HVDC) as an alternative to high voltage alternating current (HVAC)

Across the world, bulk transmission of electrical power is predominantly via HVAC. HVAC makes it easy to move electricity as it responds quickly and automatically to changing electricity needs across the grid in real time.

The vast majority of HVAC is transmitted using overhead line technology.

In the transmission grid, underground cables are typically used where overhead lines are not feasible, for example, in urban regions, for long crossings over water or in areas which have high environmental sensitivity.

HVAC overhead and underground cable technologies are discussed in more detail in section 4 of the report. Gas insulated line and superconducting cable, which have been proposed as alternative underground technologies, are also discussed in section 4.

In some circumstances HVDC technology is selected in preference to HVAC. HVDC as an alternative to HVAC is discussed in more detail in section 5 of the report.

3.2 Power corridor technical requirements

The Future Grid 2030 power corridor has the following technical functionality requirements:

Table 1: Basic technical requirements

Criteria	Requirement
Power capacity	6 GW
Redundancy	50% availability after a single grid fault (i.e. the requirement is for at least two independent 3 GW circuits, or 2 x 3 GW capacity)
Length	50-100 km
Provision for future additional connections to the new lines	Required

4 Comparison of Alternating Current (AC) Options

At present Elia operates the transmission grid at 150 kV, 220 kV and 380 kV.

380 kV is considered the most appropriate alternating current (AC) operating voltage for the Future Grid 2030 power corridor to meet its required power transmission capacity. Increasing the voltage decreases the current flowing in the lines, which consequently decreases power loss.

Conductors that transmit electricity need to be electrically insulated to ensure safe and reliable operation. One major difference between overhead lines and underground cables is the way they are insulated. Conductors of overhead lines are insulated by air, except where they are attached to towers; while underground cables are enclosed in a layer of insulating material throughout their length. In this respect the design of a high voltage cable is similar in principle to that of a low voltage power lead for a domestic appliance.

Air is the cheapest and simplest insulator available. It also has the benefit that heat produced by electricity passing through the conductors is efficiently removed by the natural flow of air.

The electrical insulating materials applied to cables also act as thermal insulation. Because of this effect, and due to the burying of cables underground, the heat produced by power losses in the conductor is removed much more slowly, thus power flow must be reduced to avoid the cables overheating.

4.1 Cost Comparison of AC overhead line and AC underground cable

The cost of operation, maintenance and power losses over the lifetime of an alternating current transmission circuit is broadly the same for overhead lines and underground cables.

The construction costs vary greatly depending on many factors, including route length, power capacity, ground conditions and physical features of the landscape.

Underground cables are always more expensive when compared to equivalent overhead lines.

The major elements of this cost differential are due to the relatively higher cost of the cable itself and the cost of the civil works required to install the cables in the ground.

4.2 High voltage AC overhead line

The vast majority of the transmission grid in Europe and worldwide is made up of AC overhead line.

4.2.1 Overhead line construction

Conductors are generally of multi-stranded construction using aluminium or aluminium alloy conducting wires. Steel wires can be used for strength. In some modern conductors, steel is replaced by composite materials. The conductors are arranged in bundles and supported by insulators from towers. 380kV overhead lines have traditionally used steel lattice towers but other types of structure have been developed which include concrete, folded steel, or composite elements.

An overhead line generally carries one or two circuits, with each circuit comprising three phases;. however, in some cases a set of towers will carry additional distribution circuits. The figure below shows a lattice steel tower with one circuit carried on each side. The wires at the top of the tower are earthwires which protect the conductors from lightning strike and carry optical fibres to support communication links.

In overhead line designs, three basic structures are employed – one to go in a straight line (a suspension tower), one to go around corners (an angle tower), and one at each end of the circuit to connect the line to a substation (a terminal tower).

Figure 2: 380 kV steel lattice tower

Source: Elia

The conductor may be in a single or bundled configuration (the illustration shows an example of a twin bundle). The conductor size and configuration are selected based on the capacity requirements of the circuit, and the arrangement is designed to reduce acoustic noise and electrical losses.

The bare conductors are insulated from the towers via insulator sets made from porcelain, glass or combinations of composite and polymeric materials.

Tower height and the spacing between towers are selected so that a minimum safe conductor height above ground is maintained. The conductors expand as temperature increases, causing them to hang closer to the ground, therefore the design must consider a worst-case scenario of weather and operating conditions.

Relying on air as insulation results in a relatively large installation due to the physical distance that must be provided around the conductors. The higher the voltage, the greater the required clearance around the conductor, and hence the need for larger transmission towers.

380 kV towers are typically spaced at approximately 350-400 m intervals.

Figure 3: Two double circuit 380 kV overhead line routes

Source: Elia

The conductors are brought down to ground level at each end of the line to connect to ground mounted substation equipment or to an underground cable.

4.2.2 Overhead line reliability and availability

Transmission circuit availability is influenced by planned maintenance activity and unplanned faults. Both cases require the circuit to be switched off and therefore to become unavailable for use.

Planned maintenance activity is undertaken in a strategic and coordinated fashion to minimise the impact on grid availability.

On the other hand, unplanned faults can be highly disruptive. It is therefore important to consider their potential impact on transmission grid availability.

Overhead line faults can be categorised as temporary or sustained, depending on their impact.

When a fault occurs, the affected line is automatically switched off to prevent or minimise damage. Most overhead line faults are temporary (often caused by the effects of weather), therefore programmed switching sequences are used to re-energise the line after a short delay.

If the fault proves to be temporary, the line is immediately returned to service, often with minimal disruption to customer supply. However, when damage leads to a sustained fault, re-energisation will be unsuccessful and the line must be taken out of service. The damage can then be readily identified by visual inspection and can usually be repaired within a few days. .

4.2.3 Overhead line environmental considerations

The routing of overhead lines is a complex process and requires a balance between statutory obligations, engineering requirements, economic viability, land use and the environment.

Overhead lines are large linear developments and affect visual and other environmental aspects of the landscape they cross to varying degrees.

Careful routeing of new overhead lines is important and needs to follow defined guidelines and rules to minimise the effect on the environment. Route option selection and consultation with stakeholders form part of the routeing process.

During construction, the overhead line corridor is cleared of trees and other high vegetation. However, low level vegetation can remain. Earth and soils are removed at tower locations to facilitate installation of foundations.

There is an ongoing requirement for vegetation to be maintained at safe distances throughout operation of the line.

Where land is used for agricultural purposes, or in open heathland and moorland habitats, there is not likely to be any significant restriction on land use once restoration is complete following installation of the cables.

Construction of buildings is not usually permitted beneath overhead lines and any construction works in the vicinity of the line must be carefully planned and controlled.

4.2.4 Summary of overhead line key features

High voltage overhead line technology provides a robust and cost-effective solution for transmission of large volumes of electricity over long distances.

An overhead line has a high level of availability and most faults can be located and repaired easily and quickly.

Overhead lines are a flexible technology that can be routed and constructed across a wide range of geophysical and topographical environments. They have a relatively low physical impact on the land.

Overhead lines may not be suitable for some urban regions or areas of high environmental sensitivity. Underground cables are often an alternative in these cases.

4.3 High voltage AC underground cable

Underground cables play an important role in transmission grids by providing an alternative solution to overhead lines for transmitting electricity where overhead line cannot be used. Underground cables are most often installed in urban or environmentally sensitive areas.

380 kV underground cables make up less than 0.5% of the 380 kV AC land transmission systems in western Europe, with approximately 99.5% using overhead lines.

4.3.1 Overview of cable systems

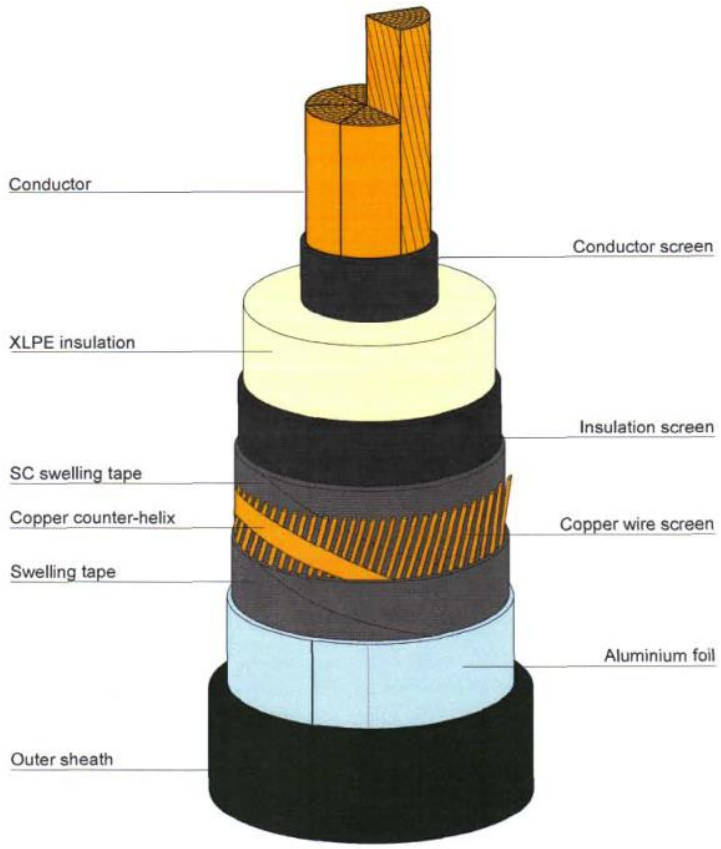
Up until the 1980's, cable insulation systems were based almost exclusively on the use of insulating paper immersed in oil. Cables of this type are known as fluid filled cables.

Fluid filled cable systems are rarely installed today due to the environmental risks associated with oil leakages from damaged cables, construction and installation complexity, decreased manufacturing capability/availability and economics.

More recently, modern underground cables use a high-performance insulating material called cross-linked polyethylene (XLPE). XLPE offers several economic and environmental benefits when compared with oil and has become the insulation of choice within the high voltage transmission industry.

Cable conductors can be manufactured from copper or aluminium, with copper generally selected for 380 kV cables due to its greater current carrying capacity. For larger conductor sizes, such as those adopted in 380 kV applications, segmental stranded conductors are used to help reduce electrical losses.

Figure 4: 380 kV underground cable



Source: Nexans

4.3.2 Underground cable construction

Cable insulation material will be permanently damaged if the temperature of the main conductor exceeds defined limits. Heat produced by electricity passing through the conductor cannot be removed by natural air flow in the same way as with an overhead line. The power capacity of a

cable system is thus dependent on the ability to move heat away from the cable conductor to the environment.

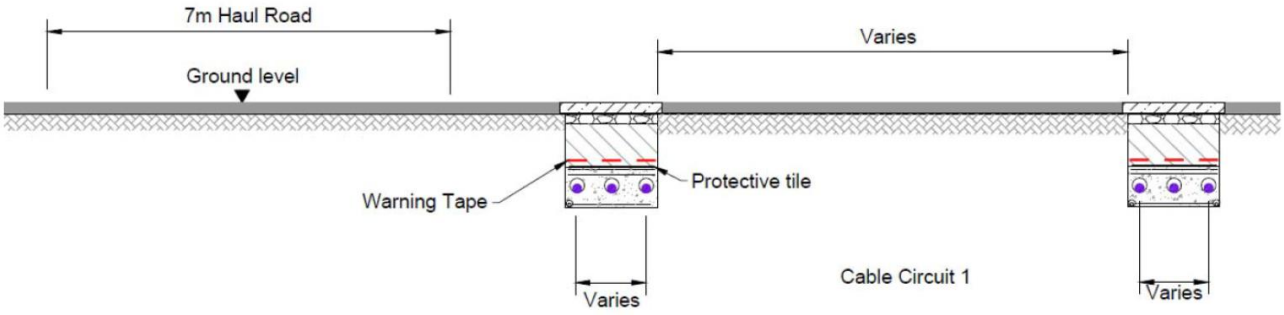
Heat gain can be limited by increasing the size of the conductor, therefore cable conductors tend to be much larger than those of an equivalent overhead line. High power cable systems often use additional conductors to increase conductor area and manage the overall heat gain. This also allows more heat to be moved away and thus helps increases the circuit capacity.

The ability to move heat away from the cable conductor is important and is influenced by the installation conditions, including:

- Burial depth
- Ground temperature
- Ground thermal resistivity

The above factors define the spacing between the cables to achieve the required heat transfers. Large spacings allow higher rates of heat transfer but can result in a significant cable route corridor width. Figure 4 shows a typical 380 kV single circuit installation with two cables per phase. The trench dimensions and distances between trenches vary dependent on the ground and installation conditions.

Figure 5: Typical 380 kV installation – a single circuit with two cables per phase, approximate rating of 2 GW)



Provision for construction activities further increases the corridor width. A dedicated road is required to carry materials to and from site and to haul the cables. Sufficient space must be provided for the operation of excavation plant and space for temporary placing of excavated material must be provided along the full length of the route.

This typically results in a construction corridor for a 380 kV installation providing two circuits roughly equal to the width of a motorway. For the period of construction activity the total width may be up to 80 m, with the completed installation width in the region of 20-30 m.

There are several different cable installation methods available, including:

- Direct burial / open cut trenches
- Ducted installation
- Surface troughs
- Tunnels
  - Deep bore
  - Cut and cover
- Horizontal directional drilling

Direct burial is normally the cheapest method for the installation of underground cables where restrictions on land use are not an issue. Cables are laid in trenches excavated in the ground and surrounded with sand (or a sand/cement mixture) to improve heat transfer. Protection covers are placed above the cables and the trench is filled with excavated material, ensuring that topsoil is reinstated in the top layer. The land can generally be returned to its previous use following completion, although there are some limitations.

Direct burial requires an entire length of cable (up to approximately 1 km) to be laid in a single operation, thus a long length of trenching must be kept open.

Figure 6: 380 kV direct buried cable circuit prior to backfilling

Source: Elia

In some situations the disruption and associated cost of direct burial excavations can be excessive. In these cases, an alternative method is to install the cables in plastic pipes, known as ducts.

Ducts can be installed in shorter sections along the cale route, reducing lengths of exposed trench and therefore reducing risk and disruption to the public. Ducts can be installed ahead of the cable delivery to save on installation time.

A more compact installation arrangement is to install the cables into a concrete surface trough. The cables are laid in sand within the troughs, which are capped with reinforced concrete covers. Heat transfer is improved as the cables are installed at a shallower depth. This technique is restricted to developed areas as the exposed concrete troughs do not allow restoration of agriculture.

Where it is not possible to lay cables close to the surface they can be installed in purpose-built tunnels or can share tunnels with other infrastructure. Tunnel installation is costly and is generally only considered where other installation methods would cause unacceptable disruption. The method of excavation and tunnel design is largely dependent on the size of the tunnel required and the ground conditions.

A tunnel requires a minimum of two head house buildings to provide access for maintenance and for installation of the cables at each end. Where the length exceeds 3 km, further access shafts may be required for safety purposes and to assist with cooling. Heat is removed from the tunnel by forced air using electric fans.

Figure 7: 380 kV cable system tunnel installation

Source: Elia

The advantage of using deep tunnels is that normal development can take place at ground level. There is also minimal disruption along the route of the tunnel during construction and maintenance.

An alternative to a deep tunnel is a ‘cut and cover’ tunnel which is constructed using pre-formed concrete sections laid in a pre-excavated deep open trench.

Many of the methods outlined above involve installing the cables relatively close to the ground level by surface excavation. However, physical constraints encountered along a route may

require a change to the standard installation arrangement with potential obstacles including rivers, roads, railways and existing underground utilities.

Horizontal directional drilling can be employed for special circumstances such as obstacle crossings. A remotely controlled drill head is used to bore a hole, through which a plastic duct is pulled through and a cable is then pulled through the duct. Directional drilling is generally utilised for distances of up to 100 m, although much longer installations may be technically feasible, depending on the nature of the ground.

Where the route length exceeds approximately 1 km, installed lengths of cable need to be joined together to form a complete circuit. The joints in the cable are a vulnerable component and are prone to failure if incorrectly assembled. For direct buried or ducted installations, underground concrete chambers are constructed to provide a suitable environment for jointing of cables. Although chambers are filled with sand and the ground reinstated, the equipment at ground level will require regular maintenance and permanent access must be provided.

Where cables transition to overhead line, cable sealing end compounds are needed. The compounds contain the high voltage equipment required to facilitate the connection between the air and the XLPE insulated system.

4.3.3 Underground cable electrical characteristics

As a result of the extra insulation around a cable, AC cables hold and store some of the energy they carry. The longer the cable is, the more energy it holds. This effect is known as ‘capacitance’. Both overhead line and underground cable adds capacitance to the grid; however, due to the physical construction and installation of a cable the effect is much greater in underground cable systems.

Due to this effect, long lengths of underground cable can cause technical issues and there are restrictions to the maximum length of 380 kV cable that can be installed in a transmission network. The maximum length is dependent on the specific network and cable system parameters and will vary for each particular case.

4.3.4 Underground cable reliability and availability

In general, XLPE cable circuits are reliable and have a low rate of unplanned faults. However, there may be occasions where a circuit fails and requires repair. Cable fault repairs require the damage to be located, the faulted portion of the cable to be removed and a replacement section to be added (requiring new joints to be made). For 380 kV cable systems, repairs can be a costly and time-consuming exercise and can have a significant effect on circuit availability.

There are two main causes of cable faults:

- Failure of a component within the insulation system due to a manufacturing or installation defect
- Damage by a third party, typically a contractor carrying out excavation works in connection with another project

Cables can also be damaged by sustained electrical overloading, although cases occur infrequently.

The risk of these events occurring is not easy to control and the resilience of the transmission network can be affected.

4.3.5 Underground cable environmental considerations

The installation of transmission cables has a significantly reduced visual impact when compared to overhead lines; however, underground cables have their own environmental and landscape considerations.

During construction, large quantities of earth and soils are removed to facilitate burial of the underground cables. This is many times the removal required by construction of an equivalent overhead line, where excavations are limited to tower foundations. The process has both environmental and cost implications.

Cable installation works can cause significant short-term effects on the landscape resulting from the felling of trees, hedges, areas of woodland and other vegetation along the route. In many cases the removal of habitat is more intensive for underground cable installations than for overhead lines.

Where land is used for agricultural purposes, or in open heathland and moorland habitats, there is not likely to be any significant restriction on land use once restoration is complete following installation of the cables. Native soils can generally be replaced, allowing shallow rooted vegetation to be re-established over the route and, in many cases, for land to be fully returned to its original condition and use.

The planting of trees in the immediate vicinity of underground cables is not permitted due to the potential for deep root systems to cause cable damage.

Construction of buildings is not permitted above underground cables and any construction works in the vicinity of these cables must be carefully planned and controlled.

4.3.6 Summary of underground cable key features

Underground cables offer a reduced visual impact when compared to overhead lines and may therefore be suitable for environmentally sensitive areas. In some cases, underground cables are the only feasible solution in such areas, for example through urban areas; however, 380 kV cable installation requires a wide corridor and can lead to significant and permanent effect on the landscape.

There are significant technical challenges in connecting long lengths of cable, meaning 380 kV cable circuits rarely exceed 20 km in length.

XLPE circuits are considered to provide reliable operation; however, XLPE cable system repair is a costly and time-consuming exercise, therefore availability is affected.

4.4 Partial undergrounding of HVAC overhead line

The term partial undergrounding refers to an overhead line circuit where a short section or sections are undergrounded.

Where overhead line transitions to cable, the overhead line is terminated at each end of the underground cable section. A large compound is required to accommodate the cable terminals together with other equipment required to facilitate the connection between the overhead and underground systems.

Partial undergrounding is technically feasible and could be considered in specific areas that would be significantly affected by construction of an overhead line.

There are numerous technical performance issues with long underground cable systems. A recent international study[1] considering a specific case in the Danish network concluded that the maximum length of underground cable in an overhead line circuit should not exceed 15% of the total circuit length. As stated in section 4.3.3, the maximum length for a particular case will vary.

4.5 Gas insulated line

In some cases, gas insulated line represents a viable alternative to overhead lines and underground cables. However, most applications of gas insulated line have been over short distances and are installed above ground in areas with no public access such as power plants or substations.

Gas insulated lines can be installed above ground, buried below ground or installed in trenches or tunnels.

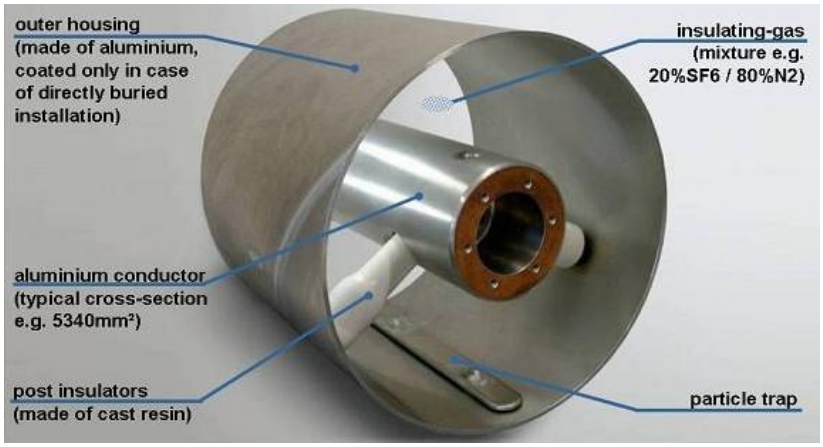
There are no gas insulated line projects with significant route lengths in service or under construction, with maximum route lengths of approximately 3.25 km.

The most extensive installation of buried gas insulated line is an installation at Frankfurt Airport in Germany which comprises two circuits, each with a route length of 900 m.

A gas insulated line conductor is supported at intervals in a rigid tubular metallic enclosure. The enclosure is filled with insulating gas, originally either sulphur hexafluoride (SF6) or a mixture of SF6 and nitrogen. New environmentally friendly insulating gases are becoming available.

A typical section of gas insulated line is shown below.

Figure 8: Typical section of gas insulated line



Source: Siemens

The gas insulated line is assembled on site and welded to form a continuous length.

Bends with radii of approximately 400 m or more can be achieved by elastic bending of straight sections. For smaller radii prefabricated bends are required. Such prefabricated bends may also be required to accommodate changes in vertical profile of the route.

[1] Technical Issues Related to New Transmission Lines in Denmark, Energinet, Doc. 18/04246-24

For free air and tunnel installation, the enclosures may require bellows sections to allow thermal expansion. Expansion bellows may also be required for direct buried gas insulated lines. They would be installed in expansion chambers at intervals along the route and may be required every 200-300 m.

In addition to the 'normal' forces outlined above, direct buried gas insulated lines are required to withstand stresses due to thermal expansion, soil pressure, surface transport loading and water table pressure.

Corrosion protection for the enclosures can be provided by use of a polyethylene coating and by cathodic protection. The coating is applied during manufacture, but additional protection must be provided where welding has been carried out on site. Protection draws on experience from buried oil and gas pipelines.

Figure 9: Example of direct buried gas insulated line prior to backfilling – Frankfurt Airport

Gas recovery plant is required for removal and storage of gas for maintenance and repair to avoid loss of SF6 to the atmosphere. While economic techniques are available for storage and direct re-use of pure SF6 there are practical difficulties in handling SF6/nitrogen mixtures.

Long lengths of gas insulated line have gas barriers at intervals to sectionalise the installation. This allows the gas pressure of individual sections to be monitored and emptied should a repair be required. It also reduces the potential gas loss in the event of a leakage. Gas section lengths vary but are approximately 200 m. Each section must be provided with access to fill and monitor the gas.

Section 4.3.3 discusses the impact of the capacitance of underground cable circuits. Gas insulated lines are also subject to this effect, but to a much lesser extent than cable.

4.5.1 Gas insulated line reliability and availability

Manufacturers have stated that gas insulated line is sealed for life. It has no preventive maintenance needs which would require internal access to the enclosures.

An insulation failure would need to be repaired by replacement of at least one factory manufactured section of gas insulated line. This would require de-gassing, removal of the section and welding/bolting into place of the replacement section. The replacement would require a skilled installation team and specialist equipment.

Fault location techniques are available but have not been demonstrated on long circuit lengths. Conventional cable fault location may not be effective due to the excellent insulating properties of SF6 which can withstand relatively low voltage tests, even after a significant fault.

4.5.2 Gas insulated line environmental considerations

The majority of gas insulated line installations use pure SF6 gas as the insulating medium.

SF6 is a greenhouse gas with a high global warming potential reported to be 24,000 times higher than carbon dioxide. The use of SF6 gas is controlled by European legislation and, while electrical uses are permitted, they are subject to strict voluntary agreements with respect to emissions.

Alternatives to pure SF6 designs use a mixture of nitrogen (80%) and SF6 (20%) as the insulating gas. This reduces the environmental impact in the event of a gas leakage.

Recent introduction of ‘green’ insulating gases will significantly improve the environmental performance.

4.5.3 Gas insulated line conclusion

Experience of gas insulated line over long distances is not available. As such, a 100 km route length may face previously un-encountered technical and construction challenges. The technology is therefore not considered appropriate for this power corridor.

4.6 Superconducting cable

The resistance to the flow of electricity in a conductor increases with temperature. If a conductor is cooled the resistance falls. If a copper conductor is cooled to near absolute zero (-273 ºC), the resistance of the conductor falls close to zero. In a superconducting material, if the resistance reaches zero, it means the current can flow without generating any heat and can pass through the conductor without any electrical resistive losses.

Maintaining an electrical transmission system at such a low temperature requires special cryogenic plant which is challenging to operate and maintain.

The discovery of alloys with superconducting properties at or above the temperature of liquid nitrogen has made it possible to construct some short length pilot projects demonstrating relatively high power transmission.

However, superconducting technology is still in development and, although there are a number of small-scale trials in distribution networks, is some way from implementation in an operational transmission grid. The technology is therefore not considered further in the report.

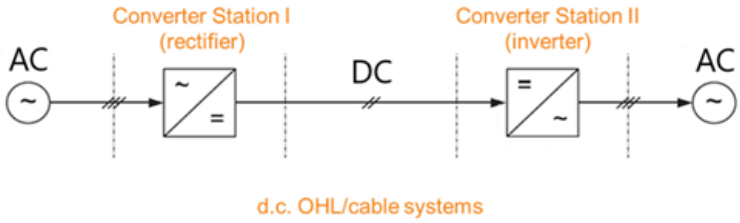
5 HVDC as an alternative to HVAC

The existing grid in Belgium is a high voltage alternating current (HVAC) system. Any new transmission project utilising HVAC would therefore be an extension of the existing technology.

High voltage direct current (HVDC) is an alternative method of transmitting electricity.

Inserting an HVDC circuit between any two points in an HVAC grid requires the AC electricity to be converted to DC at one end of the link, transmitted through the link as DC, and then converted back to AC at the other end. This tends to be an inefficient and costly method for most cases.

Figure 10: AC to DC to AC conversion



HVDC offers technical advantages when compared to HVAC for the following cases:

1. Transmission between power systems which are not synchronised
2. Very long distances high power transmission
3. To allow use of long subsea cables, or facilitate the undergrounding of an onshore transmission circuit
4. Where complete and variable control of power flow is required, i.e. for interconnection between grids

In some circumstances, HVDC is the only technically feasible solution. This is the case when electrical power is transmitted between grids which are not, and cannot be, synchronised.

HVDC may be the most cost-effective solution for power transmission over very long distances. There are many long distance high power HVDC links, for example in China, India, Canada, USA and Brazil, transporting power as far as 2500 km.

As discussed in section 4.3.3 of this report, long HVAC underground cable circuits suffer from technical performance issues. In some situations, buried or underwater cable is the only way to transport power but a practical maximum distance needs to be considered when using HVAC. HVDC can be used to facilitate the undergrounding of long circuits.

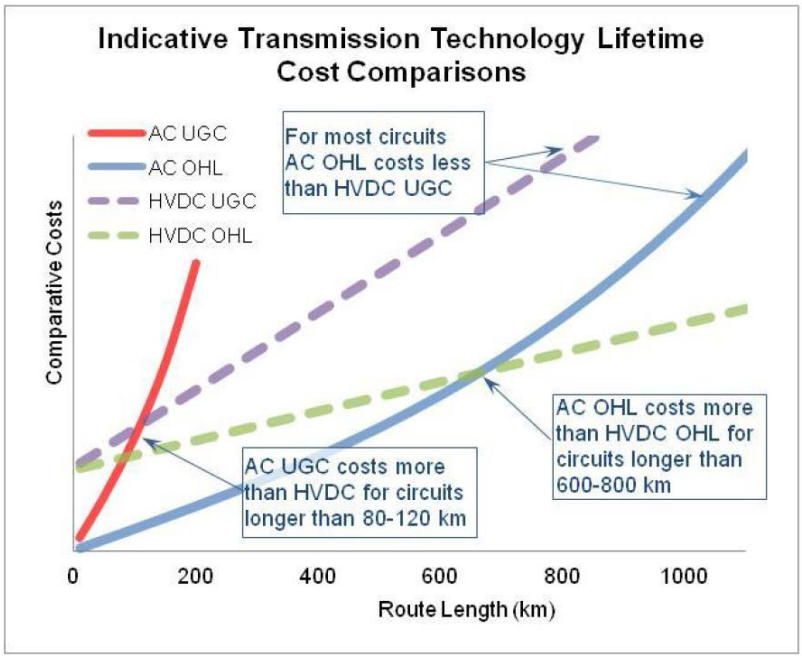
HVDC starts at a cost disadvantage to any HVAC option due to the relatively high cost of the converter stations which are required at each end of each HVDC link. The advantages offered by HVDC technology must outweigh the cost and power losses of the converter stations.

Figure 11 compares costs of HVAC and HVDC overhead line and underground cable against route length.

The graph indicates that HVAC overhead lines tend to be the lowest cost option until the route length exceeds approximately 600-700 km. Beyond this length, HVDC overhead lines may be a more cost-efficient solution.

HVDC underground cables tend to become more cost-efficient than HVAC underground cables for circuits of approximately 80-120 km or longer.

Figure 11: Transmission options - cost against route length



Source: Parsons Brinckerhoff Electricity Costing Study 2012

Power in a grid must be balanced so that the power generated is varied to match the power consumed. In an interconnected, or meshed, AC system power finds its way from generation to the consumer by the most convenient route. The system operator must ensure that the routes are able to carry the power without overloading.

HVDC interconnectors require precise control so that there is no risk of overloading. Requirements for changes in power flow must be identified and programmed into the control systems. This requires monitoring of the grid, sometimes remotely from the converter stations.

5.1 HVDC technology review

5.1.1 Converter configurations

In general, the converter used for HVDC transmission can be classified as current source or voltage source.

5.1.1.1 Current source converters

The most widely used current source converter type is the line commutated converter which is based on thyristors.

Current source converters are only suitable for operation between grids which are relatively strong in comparison with the power rating of the HVDC connection between them. Modern

line commutated converter converters and overhead lines can operate up to 800 kV DC and 8 GW of power.

Line commutated converter technology is mature and is typically used for transmitting very high power over very long distances onshore, which is not normally required in Europe. Within Europe the technology has historically been utilised for subsea interconnectors, although voltage source converters are now generally adopted for new projects.

For these reasons, the report does not consider line commutated converter technology for the proposed power corridor.

5.1.1.2 Voltage source converters

A voltage source converter is based on transistors and offers significant advantage over line commutated converters. Voltage source converters can operate in weak systems and provide feed into previously dead systems (known as 'black start'). Their maximum capacity is less than line commutated converters, with the highest voltage in service being 320 kV DC (although 525 kV DC schemes are being built). Typical voltage source converter schemes are around 1-1.4 GW per circuit. For voltage source converters, capacity higher than 1.4 GW means higher risk.

Voltage source converters provide smooth control of transmitted power and the voltages at the point of connection.

The most recent regulations covering new HVDC systems in Europe demand smooth voltage control. Consequently, all new HVDC interconnectors in Europe are expected to be voltage source converter type. Only voltage source converter HVDC technology will be considered in the report.

5.1.2 System configurations

HVDC systems can be configured in three ways:

- Point-to-point configuration
- Back-to-back configuration
- Multi-terminal configuration

5.1.2.1 Point-to-point configuration

Most HVDC systems are point-to-point configuration. Power is transmitted between two points in a HVAC grid. Almost all installed HVDC interconnectors have only two terminals.

5.1.2.2 Back-to-back configuration

HVDC with back-to-back configuration has two converters located at the same site in a single building and there is no overhead DC line or underground DC cable. Back-to back schemes are generally used for connection of HVAC systems operating at different frequencies or for connecting unsynchronised systems. This configuration is not suitable for the proposed power corridor and is not considered further in the report.

5.1.2.3 Multi-terminal configuration

HVDC with multi-terminal configuration has more than two terminals. In practice no scheme with more than three terminals at separate sites has ever been in operation.

There are a small number of line commutated converter schemes with three terminals and some multi-terminal voltage source converter schemes are being considered. A multi-terminal voltage source converter scheme would have fewer restrictions in operation than a multi-terminal line commutated converter scheme, but each terminal will still require a converter station, which adds to the cost.

5.2 Reliability and availability

HVDC transmission systems require a greater number of components than conventional AC circuits, including the following:

- Power electronic converters
- Complex control and protection systems
- Converter transformers
- Cooling systems
- Harmonic filters (may also be required for long AC cable circuits)
- Reactors (may also be required for long AC cable circuits)
- AC circuit breakers (also be required for long AC cable circuits)
- DC overhead lines or underground cables (similar requirement for AC circuits)

The increased components result in a more complex system when compared to an equivalent HVAC transmission system, increasing the probability of forced power unavailability due to equipment failures. All systems require maintenance from time to time. While some components can be maintained without need for an outage by use of duplication, for example within cooling systems, generally an outage is required of several days every year or two.

Redundancy is built into HVDC converter systems, for example by duplicating control systems, installing more transistors in the converters than are needed for full operation and duplication of cooling system pumps. In the event of failures, these systems can be repaired ‘on-line’ but replacement of failed transistors, for example, requires an outage at a convenient time. Some failures, such as transformer and cable faults, inevitably lead to tripping of the interconnector.

5.3 Technical issues associated with HVDC

5.3.1 Facilitation of future grid connections

Any future connection to a HVDC link requires its own converter station and extensive modification to the existing converter stations at the remote ends of the connection. This is likely to be expensive and will introduce increased complexity to an already complex system.

5.3.2 Power reversal

The proposed HVDC system needs to be capable of power transfer in either direction under normal conditions and be capable of reversing power transfer direction automatically under various fault scenarios. Voltage source converter HVDC changes power smoothly from full power in one direction to full power in the other, and probably at the rate required for the AC grid to remain stable.

Embedding an HVDC circuit into a meshed HVAC transmission network and requiring it to respond correctly to emergency situations within the AC system requires complex control and communications systems. Quick identification and communication of the conditions to the HVDC control system can be challenging and risk failure. Detailed studies are required to

identify the control requirements. Sources of signals showing the conditions and methods to get the information to the control system need to be identified.

5.4 Key technology risks

The power corridor must provide very high availability. To maintain partial capacity during scheduled maintenance and fault recovery it would be necessary to install at least two independent links. If two circuits are provided then each would need to have a rating of 3 GW which is greater than any voltage source converter scheme that has yet been implemented. It is therefore likely that multiple links will be required to achieve the required power corridor capacity, even allowing for ongoing development of increased converter power ratings. An option would be to use three interconnectors each rated at 2 GW or four rated at 1.5 GW. This would allow more than 3 GW of capacity to be maintained with one link out of service for repair or maintenance.

5.5 Conclusion on HVDC as an alternative to HVAC

HVDC can facilitate the undergrounding of long circuits where the maximum length of AC underground cable is limited. It is technically feasible to utilise HVDC technology to underground the full length of the Future Grid 2030 power corridor.

The additional cost of HVDC would be significant and HVDC technology would not offer the operational flexibility and resilience of an HVAC solution.

A HVDC solution offers several technical risks and disadvantages when compared to a HVAC equivalent.

New connections can more easily be provided using an AC circuit. Future connections to a HVDC link are possible, but each new connection along the route would require a converter station and hence large capital cost.

Control systems for multi-terminal HVDC are complex and there are technical risks of low reliability and availability of a multi-terminal HVDC link.

Significant land area is required for converter stations at each terminal point.

A typical HVDC system requires at least four years to bring it into service. In this case, with more than one interconnector required, it would probably take a further year or more before the full scheme is operational.

6 Benchmarking Study of Similar Projects in Europe

6.1 Research methodology

The following resources have been used to identify European reference projects for this benchmarking exercise:

- The ENTSO-e website, including the 2014 and 2016 Ten Year Network Development Plan (TYNDP) documents which contain a list of transmission system projects. We filtered the lists of projects and selected those we expect will be suitable for benchmarking against Elia's Future Grid 2030 project.
- General industry knowledge
- Publicly available industry reports

The aim was to identify a range of projects covering each of the technology options relevant for the report.

6.2 Summary of shortlisted projects

The following projects have been selected:

Table 2: Overhead HVAC projects

Project	Driver behind choice of technology
Beauly Denny	Least cost technically acceptable solution
Brabo I, II and III	Least cost technically acceptable solution
North South Interconnector	Least cost technically acceptable solution
Richborough – Canterbury	Least cost technically acceptable solution

Table 3: Underground / subsea HVAC projects

Project	Driver behind choice of technology
Frankfurt Airport (gas insulated line)	Undergrounded due to proximity to airport runway. Gas insulated technology adopted due to requirement for narrow installation corridor.
Hornsea	Subsea cable. AC selected due to its relatively lower cost when compared to HVDC.
London Power Tunnels	Cable in deep tunnel due to congested urban environment
Shinkeiyo – Toyosu	Cable in deep tunnel due to congested urban environment
St John's Wood	Cable in deep tunnel due to congested urban environment

Table 4: Partially undergrounded / subsea HVAC projects

Project	Driver behind choice of technology
Hinkley Point C	Crossing of protected area led to partial undergrounding
Kasso – Tjele	Crossing of protected area led to partial undergrounding
Randstad	Crossing of obstructions and/or protected / urban areas led to partial undergrounding
Sorgente - Rizziconi	Requirement for sea crossing led to subsea cable section

Project	Driver behind choice of technology
Stevin	Crossing of obstructions and/or protected / urban areas led to partial undergrounding

Table 5: Overhead HVDC projects

Project	Driver behind choice of technology
Suedlink	Very long distances high power transmission
Ultranet	Very long distances high power transmission

Table 6: Subsea / undergrounded HVDC projects

Project	Driver behind choice of technology
Alegro	HVDC selected to facilitate undergrounding, and to enable complete and variable control of power flow
Baixas – Santa Llogaia	HVDC selected to facilitate undergrounding, and to enable complete and variable control of power flow
BritNed	HVDC selected to facilitate long submarine cable
Greenconnector	HVDC selected to facilitate submarine and undergrounding, and to enable complete and variable control of power flow
Sapei	HVDC selected to facilitate long submarine cable
SuedOst Link	HVDC selected to facilitate undergrounding, and to enable complete and variable control of power flow

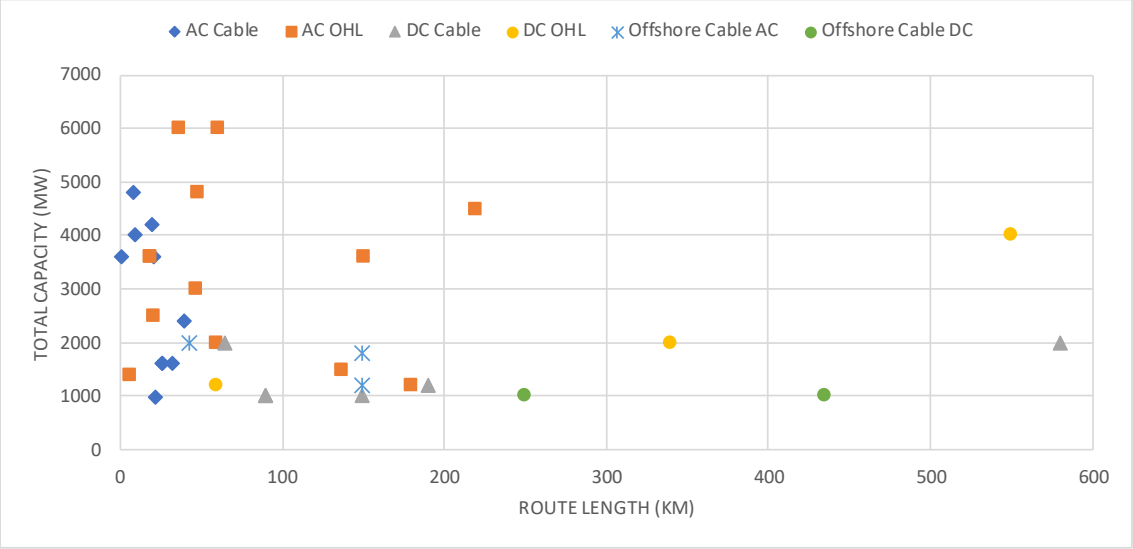
Table 7: Mixed overhead and underground HVDC projects

Project	Driver behind choice of technology
SouthWest Link	HVDC selected to facilitate undergrounding, and to enable complete and variable control of power flow

6.3 Flash cards

Please see Appendix A for a project summary sheet, or flash card, for each shortlisted project. Figure 12 shows technology type against power corridor capacity and route length for selected projects.

Figure 12: Power corridor capacity and route length for selected projects



7 Global Trends

AC overhead lines form the vast majority of the circuit length in transmission systems around the world. This situation is unlikely to change in the foreseeable future, with many new overhead line projects planned or under construction. Whilst many proposals have been made to improve the visual appearance of the 'classic' lattice steel tower, conventional designs remain cost effective and still predominate in new construction.

The use of AC cables is generally confined to the following cases:

- Where the installation of overhead lines is not technically feasible due to geographic features; primarily river or estuary crossings greater than 1 km
- Where the use of overhead lines is not practical due to the density of urban development
- Where an overhead line would have a significant impact on a valuable environment

Transmission voltage cables were developed more than 50 years ago to accommodate such situations, however the paper/oil insulation used was expensive to both install and maintain and applications were thus very limited. More recently, the introduction of cross-linked polythene (XLPE) insulation for transmission cables has reduced costs (although they are still many times the cost of an equivalent overhead line) and the use of AC cables in transmission systems has increased.

The trend to install more cable has been encouraged by increased power consumption in modern urban centres, which exceeds the capacity of existing distribution networks and requires provision of new transmission infrastructure.

At distribution grid voltage levels (generally 110 kV and below), there has been an increasing trend to replace overhead lines with cables. This has generally not extended to transmission grid voltages due to cost and practicality.

There are limitations on the maximum length of transmission voltage cables that can be added to a grid as discussed in section 4.3.3 of the report.

Gas insulated line has been commercially available for more than 40 years and has been widely used for relatively short connections (less than 500 m) within utility company power installations. Take-up for longer applications and for buried applications in publicly accessible areas has been very limited, with only one significant project providing a circuit length of 2 x 0.9 km.

Several trial installations of superconducting cables have been launched in recent years by a number of manufacturers, none at transmission voltage and none offering the power transfer capacity required for transmission applications. Commercialisation of the technology is not anticipated in the immediate future.

Since the introduction almost 40 years ago of thyristors with a high current switching capacity, HVDC has been utilised for very long distance high power transmission over land. Reduction of transmission losses has encouraged the adoption of high transmission voltages, often in excess of the capability of cable technology, thus these high-power links utilise overhead lines. Recent developments in China and India have seen the introduction of 800 kV DC 'Ultra High Voltage' transmission offering capacities in excess of 6 GW on a single line with circuit lengths of 1000-2500 km.

The 'Classic' line commutated HVDC technology based on thyristor switches has also been widely used for submarine interconnectors. In these applications the operating voltage is reduced (to suit the capability of the cable technology) and current ratings are also reduced. Transfer capacity of these projects does not exceed 1 GW per circuit and many are designed for a lower power level than this.

More recently the introduction of high-power transistors has facilitated the development of voltage source converter technology. This is often paired with extruded XLPE cables (which are not suitable for use with line commutated converters). Voltage source converter technology was originally launched as a more economical alternative to line commutated converters for power levels less than 0.1 GW, however the inherent advantages of voltage source converters led to the technology being rapidly scaled up to achieve around 1 GW capacity; limited by the voltage capacity of the extruded cable and the current capacity of the transistors. The 1 GW designs have been quite widely adopted both in Europe and elsewhere, with interconnector circuits between transmission networks, connections to offshore islands and connection to offshore wind farms forming the main applications.

Recent technical developments have resulted in extruded cables being developed for operation up to 525 kV together with transistors offering a higher current switching capability. It is anticipated that these advances will allow a future increase in voltage source converter ratings to around 2 GW per circuit. Although projects utilising this transmission capacity are planned, there are none currently in service or under construction.

8 Glossary of technical terms and acronyms

Table 8: Technical terms and abbreviations

Term	Abbreviation	Description
Alternating current	AC	A type of electrical power where the electric charge reverses direction at regular intervals
Availability		The amount of time the circuit is available for the purpose it was designed, i.e. to transmit its rated power. This is influenced by planned maintenance activity and unplanned faults.
Capacity		The amount of electricity that can be safely and reliably transmitted on the grid or a circuit
Circuit		The overhead line or underground cable linking two substations
Conductor		The part of the overhead line or underground cable that carries the electrical power
Converter station		A station that converts direct current to alternating current or vice versa
Corridor		The strip of land of a particular width where the electricity line or cable will be routed
Current		The flow of electric charge in a circuit, analogous to the flow of water in a water system. Measured in units called Amps.
Demand		The amount of electrical power that consumers take from the grid
Direct current	DC	A type of power where the electric charge is constant in direction.
Distribution grid		A lower voltage grid which delivers power to households and businesses. The equivalent of a regional minor road networks in a country's road system
Electric and magnetic field	EMF	Invisible areas of energy which occurs naturally. When electricity flows, both electric and magnetic fields are produced.
Electrical losses		See losses
Faults		A failure of equipment requiring a circuit to be switched off and therefore to become unavailable for use
Generator		A unit that produces power in the form of electricity
Grid		A network or 'energy motorway' made up of high voltage overhead lines, underground cables and substations. The grid links energy users with energy producers. It is designed so that power can flow freely to where it is needed.
Giga-Watt	GW	A unit of power (see power). 1 GW is equal to 1000 MW.
Harmonic distortion		A phenomenon which affects the quality of supply to customers.
Insulator		A component used in electrical equipment to support and separate electrical conductors.
Interconnector		A large circuit connecting two countries
kV	kV	A unit of voltage (see voltage). 1 kV is equal to 1000 V.
MW	MW	A unit of power (see power). 1 MW is equal to 1000 W.
Phase		An AC power transmission system may be single or three phase. All AC systems described in this report are three phase hence three separate conductors, or three separate groups of conductors, are required to form a complete circuit.
Power Plant		A facility made up of generators that produce power in the form of electricity
Power system		The overall system which produces, transmits and distributes electricity as soon as it is needed
Reactive power		Energy held and stored in cable capacitance

Term	Abbreviation	Description
Reactive power compensation		Special equipment to neutralise energy held and stored in cable capacitance and balance the associated effects
Redundancy		The inclusion of additional capacity in case of failure of other circuits
Reliability		The ability of the circuit to perform consistently well
Renewable generation		The generation of electricity using renewable energy such as wind and solar
Substation		A set of electrical equipment used to control power flows and change the voltages between the transmission and distribution grids
Transmission grid		A physical network that links generators of electricity to the distribution grid. The transmission grid is the equivalent of the national motorway network in a country's road system
Voltage	V	A measure of electric potential, analogous to the pressure in a water system. Measured in units called volts.
Watt	W	This is a measure of electrical power. Measured in units called Watts. An electric kettle consumes about 2 kW

Appendices

A. Project Flash Cards 32

A. Project Flash Cards

Table 9 describes the symbols on the flash card maps.

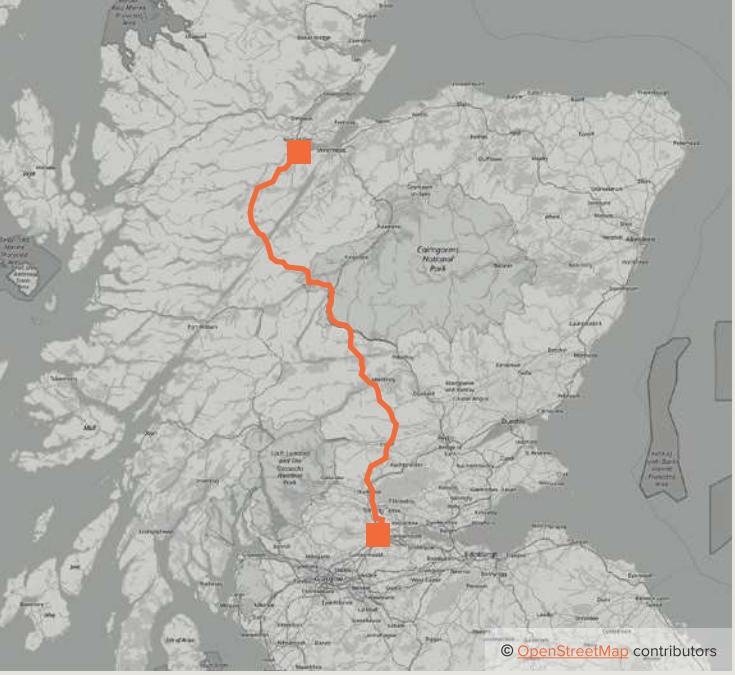
Table 9: Key to map symbols

Symbol	Description
	Terminal point (substation or converter station)
	AC overhead line
	AC underground cable
	AC submarine cable
	AC cable tunnel
	DC overhead line
	DC underground cable
	DC submarine cable

Table 10 describes each flash card criteria.

Table 10: Flash card criteria description

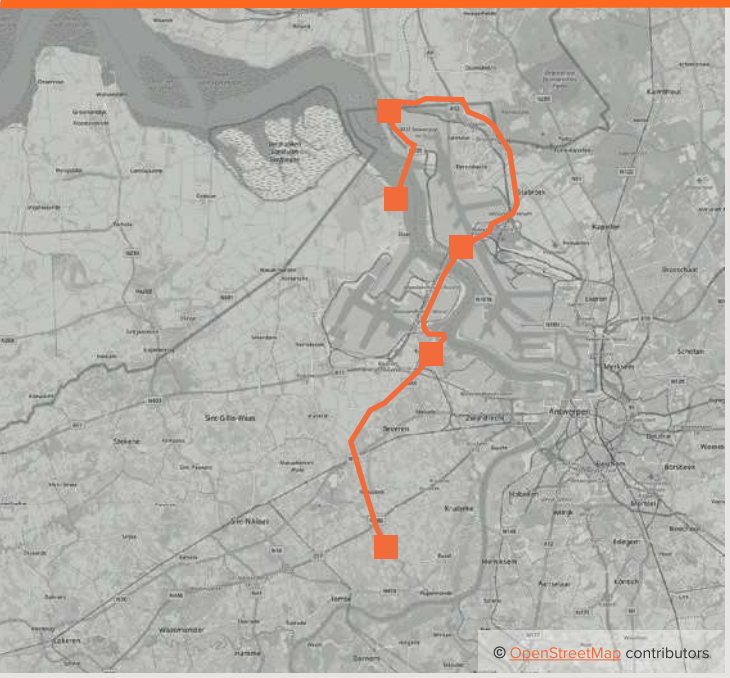
Criteria	Description
Location	-
Owner / operator	-
Project status	Planning / Consented / Under construction / In service
Actual / planned energisation date	-
Capacity	No. of circuits x circuit capacity, e.g. 2 x 1200 MW (2 circuits each of 1200 MW, giving an installed capacity of 2400 MW)
Voltage	Voltage in kV, and AC or DC
Route length	Distance between terminal points
Circuit length	Distance between terminal points x no. of circuits
AC cable system length	For AC cables only. Circuit length x no. of cables per phase
Technology	Overhead / Underground / Subsea / Partially undergrounded; HVAC / HVDC;
Route characteristics	-
Terminal point infrastructure	Substations or converter stations at each end of the circuits
Network configuration/connection type	AC connection: Meshed network / Radial connection DC connection: Point-to-point / Multi-terminal
Capital cost	Where capital cost has been reported in foreign currency a Euro equivalent has been provided based on a December 2018 exchange rate.
Construction duration	-
External drivers/issues	-



Beauly Denny

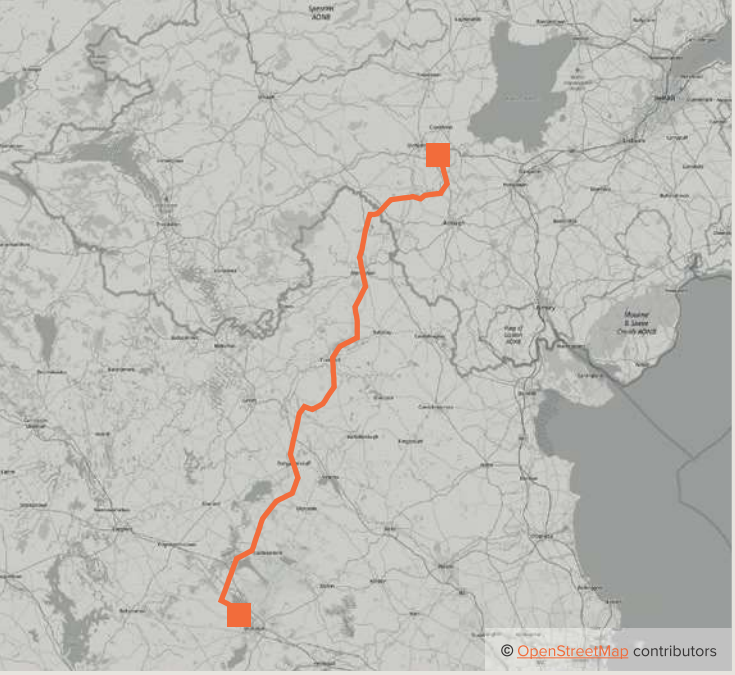
Location Scotland, UK	**Technology** Overhead line high voltage alternating current
Owner/operator SSE	**Route characteristics** Crosses remote and sparsely populated areas of Scotland including river valleys, forests and moorland
Project status In service	**Terminal point infrastructure** New Denny substation. Extension of existing Beauly substation.
Actual/planned energisation date 2015	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 1 x 2670 MW 1 x 1830 MW	**Capital cost** -
Voltage* 400 kV AC 275 kV AC	**Construction duration** 2012 - 2015
Route length 220 km	**External drivers/issues** Reinforcement of remote transmission line in Scotland to support transmission of renewable energy
Circuit length 2 x 220 km	

* The overhead line is designed for 400 kV operation but one circuit is operated at 275 kV



Brabo I, II and III

Location Flanders, Belgium	**Technology** Overhead high voltage alternating current
Owner/operator Elia	**Route characteristics** I, II and III: Existing 150 kV overhead line route
Project status I: In service, II: Under construction, III: Planning	**Terminal point infrastructure** I: Extension of existing Doel and Zandvliet substation, II: Extension of existing Lillo substations, III: Extension of existing Kallo and Mercator substations
Actual/planned energisation date I: 2016, II: 2020, III: 2025	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity I: 1 x 1400 MW II: 2 x 1800 MW III: 2 x 1800 MW	**Capital cost** I: 30 million EUR II: 62 million EUR III: 62 million EUR
Voltage 380 kV AC	**Construction duration** I: 2015 - 2016 II: 2017- ongoing (estimated completion in 2020) III: Estimated 2023 - 2025
Route length I: 6 km, II: 18.5 km, III: 19 km	**External drivers/issues** Grid reinforcement
Circuit length I: 6 km, II: 37 km, III: 38 km	



North South Interconnector

Location Northern Ireland - Republic of Ireland	**Technology** Overhead high voltage alternating current
Owner/operator Eirgrid, SONI, NIE Networks	**Route characteristics** Rural land
Project status Consented	**Terminal point infrastructure** New Turleenan substation. Extension of existing Woodland Substation
Actual/planned energisation date 2021	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 1 x 1500 MW	**Capital cost** 287 million EUR
Voltage 380 kV AC	**Construction duration** -
Route length 137 km	**External drivers/issues** Further interconnection between Northern Ireland and Republic of Ireland
Circuit length 1 x 137 km	

Richborough - Canterbury

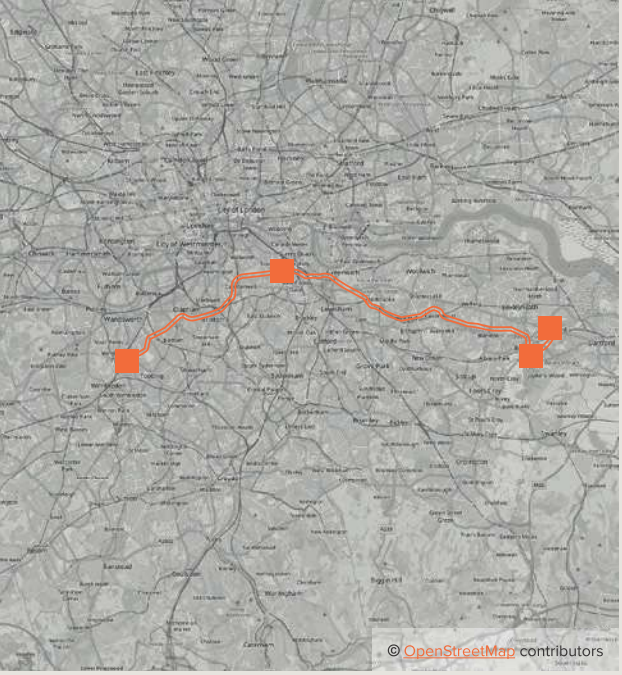
Location Southeast England, UK	**Technology** Overhead high voltage alternating current	**Capacity** 2 x 1250 MW	**Capital cost** -
Owner/operator National Grid	**Route characteristics** Rural land. The new circuit has been constructed on an existing 132 kV overhead line route	**Voltage** 380 kV AC	**Construction duration** 2017 - ongoing (estimated completion in Q4 2018)
Project status Under construction	**Terminal point infrastructure** Extension of existing 400 kV substation at Canterbury. New 400 kV substation at Richborough.	**Route length** 21 km	**External drivers/issues** Interconnection between UK and Belgium (via the NEMO HVDC link)
Actual/planned energisation date Q4 2018	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 2 x 21 km	

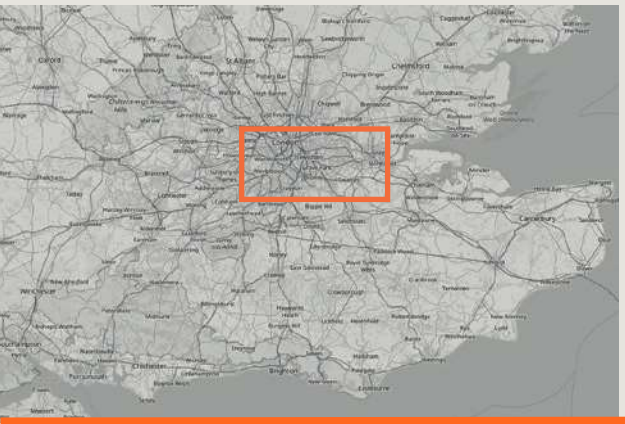
Frankfurt Airport

Location Germany	**Technology** Underground gas insulated high voltage alternating current	**Capacity** 2 x 1800 MW	**Capital cost** -
Owner/operator Ampiron	**Route characteristics** 87.5 km of overhead line precedes the underground gas insulated section near the airport	**Voltage** 380 kV AC	**Construction duration** -
Project status In service	**Terminal point infrastructure** Overhead line to GIL, GIL to new gas insulated substation	**Route length** 0.9 km	**External drivers/issues** Small section of existing overhead line required undergrounding due to vicinity to runway. Installation resulted in space saving (reduced corridor width)
Actual/planned energisation date 2011	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 2 x 0.9 km	

Hornsea 1, 2 and 3

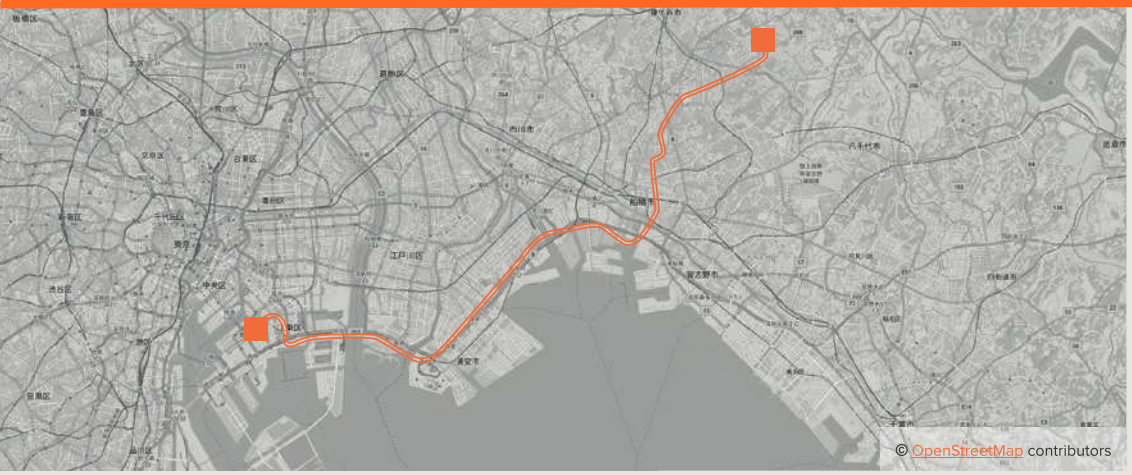
Location Eastern England, UK	**Technology** 1 and 2: High voltage alternating current subsea cable, 3: TBC	**Capacity** 1: 1 x 1200 MW 2: 1 x 1800 MW 3: 2 x 1200 MW	**Capital cost** -
Owner/operator Ørsted	**Route characteristics** 1 and 2: Subsea with onshore section. Midpoint offshore platform for reactive compensation. 1 and 2 share common route. 3: TBC	**Voltage** 1 and 2: 220 kV AC 3: TBC	**Construction duration** 1: 2016 - ongoing (estimated completion 2018 - 2020) 2: 2018 - ongoing (estimated completion 2020) 3: TBC
Project status 1 and 2: Under construction; 3: Planning	**Terminal point infrastructure** 1 and 2: Offshore platforms constructed to collect wind power and provide reactive compensation. New onshore substation at North Killingholme 3: TBC	**Route length** 1: 190 km 2: 190 km 3: 216 km	**External drivers/issues** 1, 2 and 3: Need to transmit power from Hornsea offshore wind farm projects to the mainland
Actual/planned energisation date 1: 2020 2: 2021 3: 2025	**Network configuration/connection type** 1 and 2: Radial connection to meshed network 3: TBC	**Circuit length** 1: 1 x 190 km (40km on land) 2: 1 x 190 km (40km on land) 3: TBC (53km on land)	**AC cable system length** 1: 1 x 1 x 190 km 2: 1 x 1 x 190 km 3: TBC





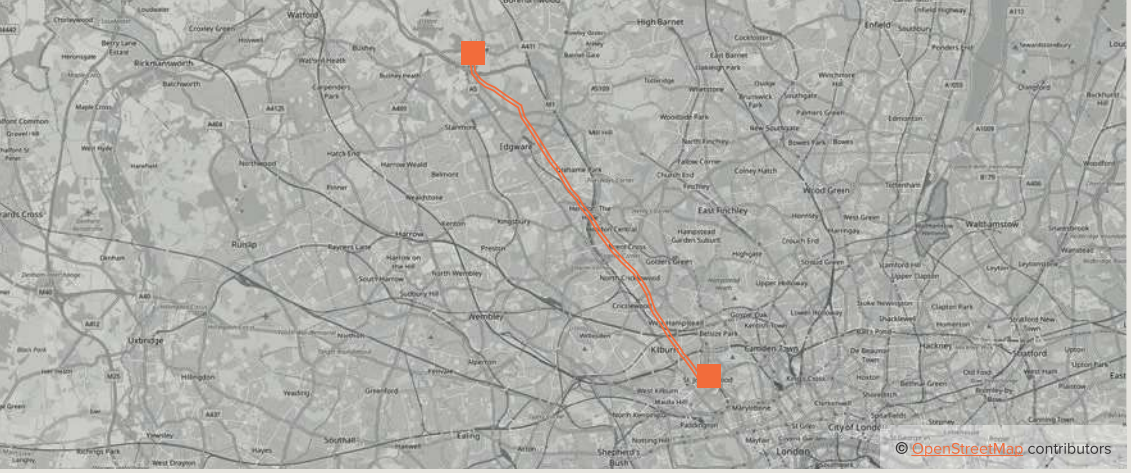
London Power Tunnels

Location London, UK	**Technology** High voltage alternating current cable tunnel
Owner/operator National Grid	**Route characteristics** Central London – cable tunnel
Project status Under construction	**Terminal point infrastructure** Upgrade of existing Wimbledon and Crayford substations
Actual/planned energisation date Wimbledon - New Cross: 2025 New Cross - Hurst: 2026 Hurst - Crayford: 2026	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 2 x 1600 MW	**Capital cost** 1.1 billion EUR
Voltage 400 kV AC	**Construction duration** Wimbledon - New Cross: July 2019 - March 2025 New Cross - Hurst: July 2019 - December 2025 Hurst - Crayford: January 2023 - December 2025
Route length 32.5 km Wimbledon - New Cross: 12 km New Cross - Hurst: 18 km Hurst - Crayford: 2.5 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid. Congested urban environment led to deep tunnel solution
Circuit length 2 x 32.5 km	**AC cable system length** 2 x 1 x 32.5 km (1 cable per phase)



Shinkeiyo - Toyosu

Location Japan	**Technology** High voltage alternating current cable tunnel	**Capacity** 2 x 1200 MW	**Capital cost** -
Owner/operator Tokyo Electric Power Company (TEPCO)	**Route characteristics** Cable tunnel	**Voltage** 500 kV AC	**Construction duration** 1995 - 2000
Project status In service	**Terminal point infrastructure** Connects to substations at Shin-Toyosu and Shin-Keiyo	**Route length** 40 km	**External drivers/issues** Routing through urban environment led to requirement for cable tunnel. Long cable system length required 1.2 GVA of reactive compensation
Actual/planned energisation date 2000	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 2 x 40 km	**AC cable system length** 2 x 1 x 40 km (1 cable per phase)

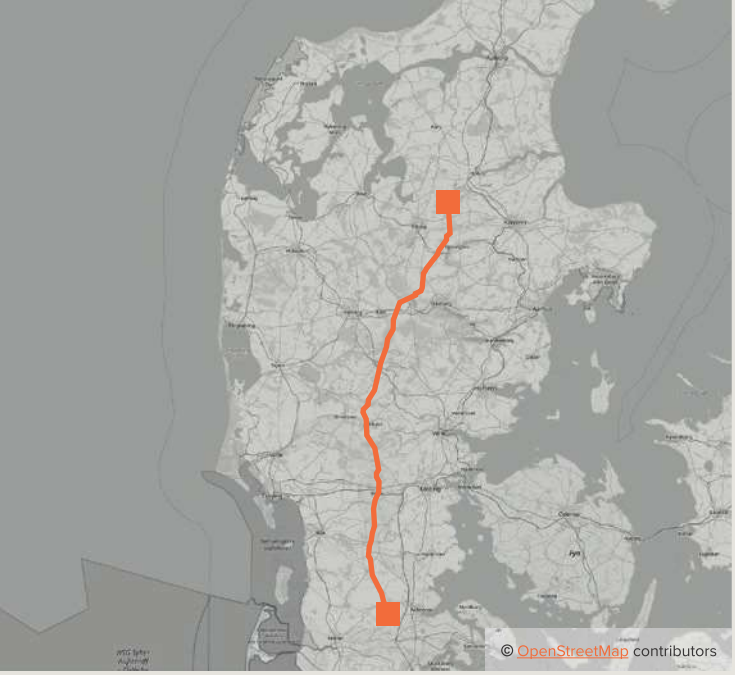


St John's Wood

Location London, UK	**Technology** High voltage alternating current cable tunnel	**Capacity** 1 x 1600 MW	**Capital cost** -
Owner/operator National Grid	**Route characteristics** Central London – cable tunnel	**Voltage** 400 kV AC	**Construction duration** 2002 - 2005
Project status In service	**Terminal point infrastructure** Upgrade of existing Elstree and St John's Wood substations	**Route length** 26 km	**External drivers/issues** Routing through central London led to requirement for cable tunnel
Actual/planned energisation date 2005	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 1 x 26 km	**AC cable system length** 1 x 1 x 26 km (1 cable per phase)

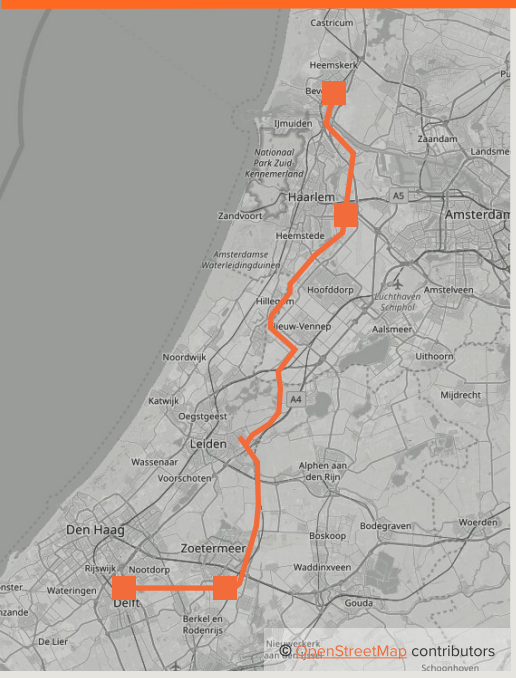
Hinkley Point C

Location Southwest England, UK	**Technology** Partially undergrounded overhead high voltage alternating current (43 km overhead and 8.5 km underground)
Owner/operator National Grid	**Route characteristics** Rural land. Crosses environmentally protected area. The new circuit will be constructed on an existing 132 kV overhead line route.
Project status Consented	**Terminal point infrastructure** Extension of existing Seabank 400 kV substation. New 400 kV substation at Hinkley Point C
Actual/planned energisation date 2026	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 2 x 2400 MW	**Capital cost** 875 million EUR
Voltage 400 kV AC	**Construction duration** 2018 - ongoing (estimated completion in 2026)
Route length 57 km	**External drivers/issues** Connection of new nuclear power station. Crossing of protected area led to partial undergrounding.
Circuit length 2 x 43 km overhead 2 x 8.5 km underground	**AC cable system length** 2 x 2 x 8.5 km (2 cables per phase)



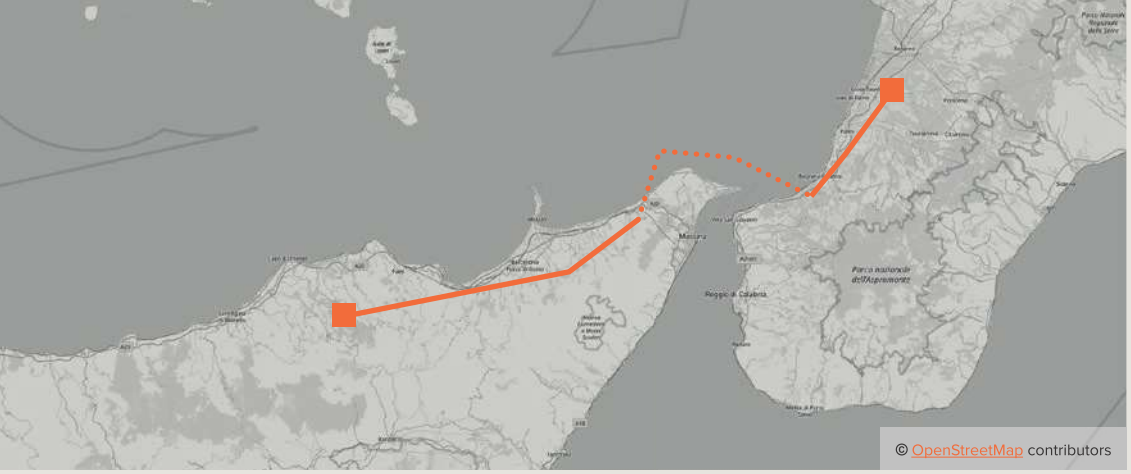
Kassø – Tjele

Location Denmark	**Technology** Partially undergrounded overhead line high voltage alternating current
Owner/operator Energinet	**Route characteristics** Existing overhead line route
Project status In service	**Terminal point infrastructure** Upgrades to existing Kassø and Tjele substations
Actual/planned energisation date 2015	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 2 x 1800 MW	**Capital cost** 390 million EUR
Voltage 400 kV AC	**Construction duration** 2010 - 2015
Route length 172 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support transmission of renewable energy. Adjustment of overhead route and section of underground cable required in environmentally sensitive areas. New overhead line tower with reduced visual impact was designed for the project
Circuit length 2 x 172 km (151 km overhead and 21 km underground)	**AC cable system length** 2 x 2 x 21 km (2 cables per phase)



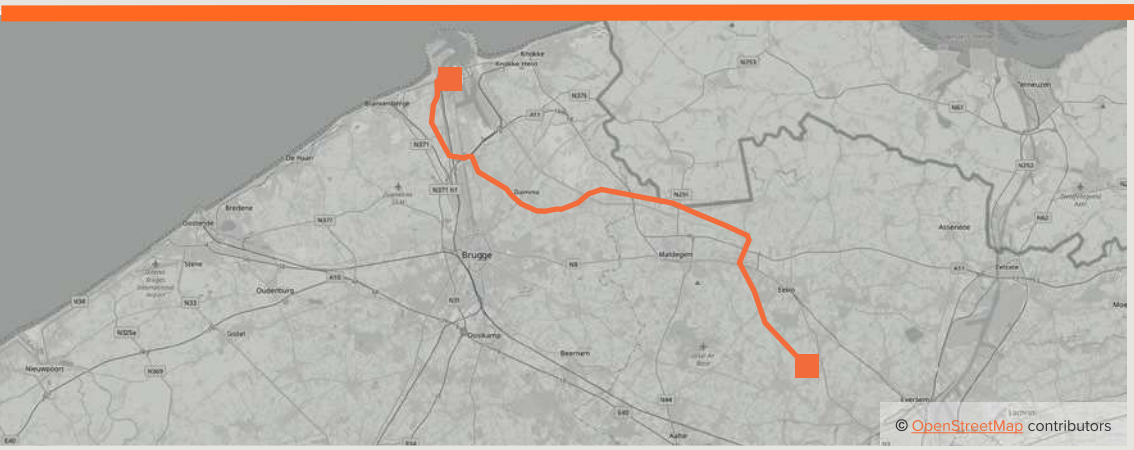
Randstad

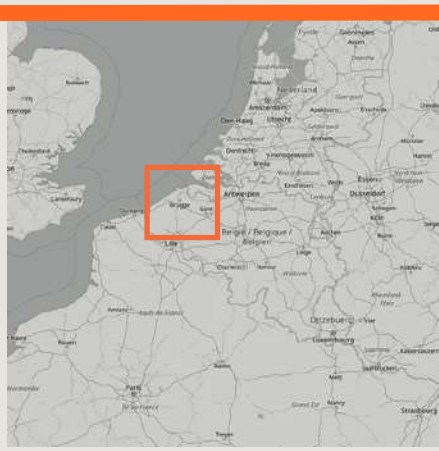
Location Netherlands	**Technology** Partially undergrounded overhead high voltage alternating current
Owner/operator Tennet	**Route characteristics** New route is combined with existing major infrastructure including existing 150 kV overhead line routes
Project status Zuidring: In service Noordring: Under construction	**Terminal point infrastructure** Zuidring: Extension of existing Wateringen and Bleiswijk substations. Noordring: Extension of existing Bleiswijk and Beverwijk substations
Actual/planned energisation date Zuidring: 2014 Noordring: Q3 2019	**Network configuration/connection type** Meshed network
Capacity 2 x 3000 MW OHL, 2 x 2100 MW UGC	**Capital cost** -
Voltage 380 kV AC	**Construction duration** Approximately 5 years
Route length Zuidring: 21 km Noordring: 60 km	**External drivers/issues** Horizontal directional drilling used to cross obstructions including railway lines, a motorway, a river and numerous watercourses
Circuit length Zuidring: 2 x 21 km (10 km overhead, 11 km underground) Noordring: 2 x 60 km (51 km overhead, 9 km underground)	**AC cable system length** Zuidring: 2 x 2 x 11 km (2 cables per phase) Noordring: 2 x 2 x 9 km (2 cables per phase)



Sorgente - Rizziconi

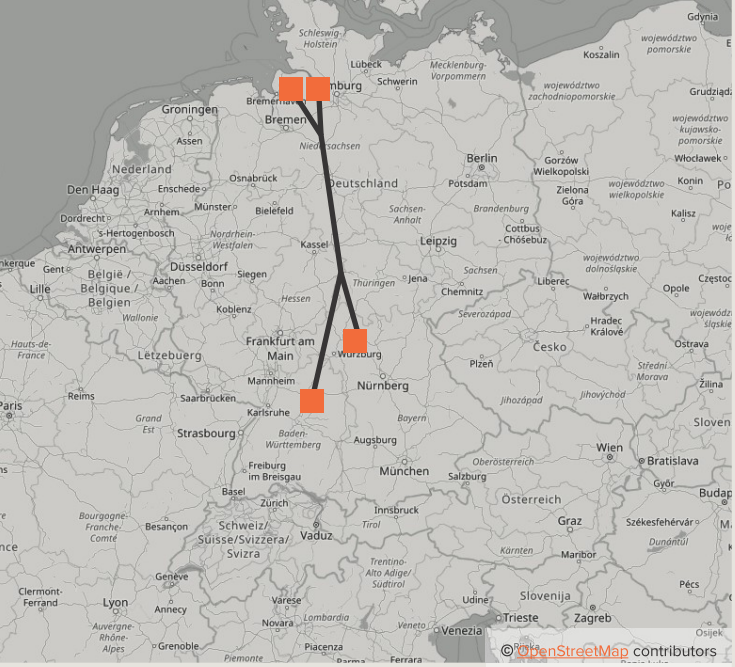
Location Mainland Italy - Sicily	**Technology** Mixed overhead and subsea high voltage alternating current	**Capacity** 2 x 1000 MW	**Capital cost** 565 million EUR
Owner/operator Terna	**Route characteristics** Onshore and offshore	**Voltage** 380 kV AC	**Construction duration** 2009 - 2014
Project status In service	**Terminal point infrastructure** Substations at Rizziconi (mainland) and Sorgente (Sicily)	**Route length** 103 km	**External drivers/issues** Increase in capacity and security of supply
Actual/planned energisation date 2015	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 2 x 103 km (60 km overhead, 38 km subsea, 5 km underground)	**AC cable system length** 2 x 1 x 43 km (1 cable per phase)





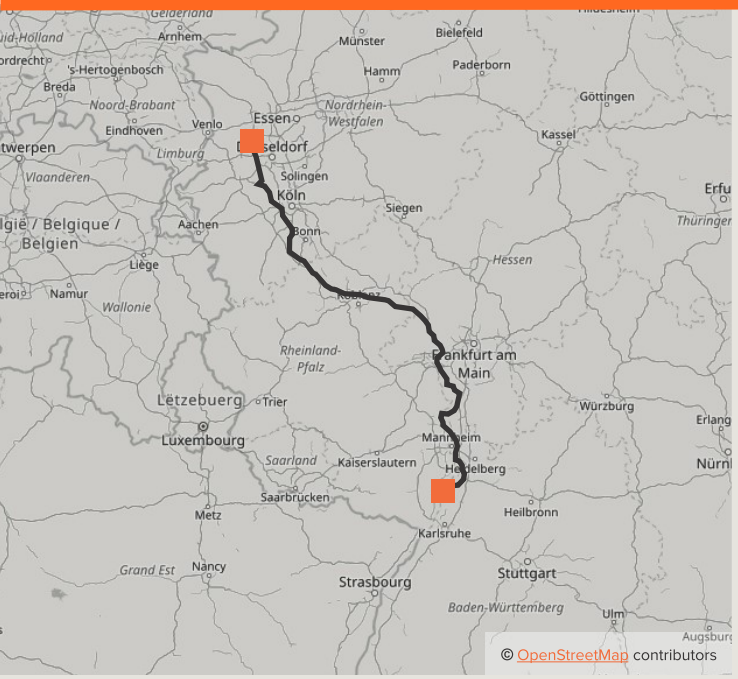
Stevin

Location Belgium, Flanders	**Technology** Partially undergrounded overhead high voltage alternating current	**Capacity** 2 x 3000 MW OHL 4 x 1000 MW UGC	**Capital cost** -
Owner/operator Elia	**Route characteristics** 12 km reuse of existing overhead line and 27 km of new overhead line. 10 km of underground cable with tunnel of 230 m under the Boudewijn canal	**Voltage** 380 kV AC	**Construction duration** 2015 - 2017
Project status In service	**Terminal point infrastructure** New substation Stevin at Zeebugge. 2 new substations Gezelle and Van Maerlant	**Route length** 47 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support interconnection with UK and transmission of renewable energy in the Northsea
Actual/planned energisation date 2017	**Network configuration/connection type** Meshed network	**Circuit length** 2 x 37 km overhead, 4 x 10 km underground	**AC cable system length** 4 x 1 x 10 km (1 cable per phase)



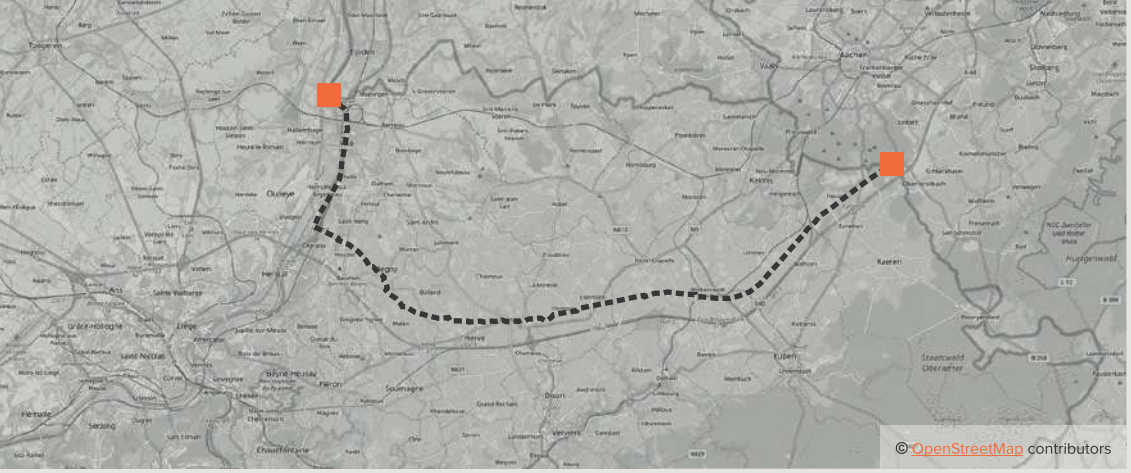
Suedlink

Location Germany	**Technology** High voltage direct current
Owner/operator ARGE Suedlink, TenneT	**Route characteristics** -
Project status Planning	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Wilster - Grafenrheinfeld and Brunsbüttel - Großgartach
Actual/planned energisation date 2025	**Network configuration/connection type** Point-to-point
Capacity 2 x 2000 MW	**Capital cost** 5.2 billion EUR
Voltage 500 kV DC	**Construction duration** -
Route length 550 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support transmission of renewable energy. Large capacity and long distance led to HVDC technology
Circuit length 2 x 550 km	



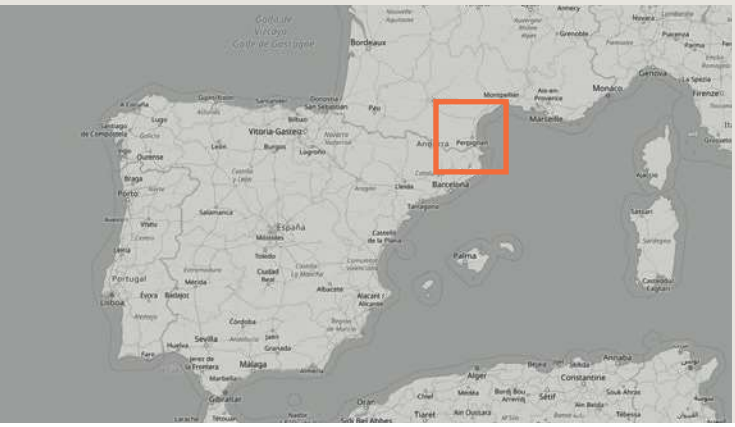
Ultranet

Location Germany	**Technology** Overhead high voltage direct current
Owner/operator TransetBW, Amprion	**Route characteristics** Utilisation of existing overhead line
Project status Planning	**Terminal point infrastructure** New converter Stations in Osterath and Phillippsburg
Actual/planned energisation date -	**Network configuration/connection type** Multi-terminal link (connecting to the A North HVDC link)
Capacity 1 x 2000 MW	**Capital cost** 910 million EUR
Voltage 380 kV DC	**Construction duration** -
Route length 340 km	**External drivers/issues** Need to transmit wind power from the north of Germany to the south where existing nuclear power plants are being decommissioned by 2022
Circuit length 1 x 340 km	



Alegro

Location Belgium - Germany	**Technology** Underground high voltage direct current	**Capacity** 1 x 1000 MW	**Capital cost** -
Owner/operator Elia, Amprion	**Route characteristics** 49 km in Belgium, 41 km in Germany. In parallel with E40 European motorway between Belgium and Germany. 700 m long microtunnel beneath the Meuse and the Albert Canal	**Voltage** 380 kV DC	**Construction duration** 2018 - ongoing (estimated completion in 2020)
Project status Under construction	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Lixhe and Oberzier	**Route length** 90 km	**External drivers/issues** Interconnection between Germany and Belgium
Actual/planned energisation date 2020	**Network configuration/connection type** Point-to-point	**Circuit length** 1 x 90 km	

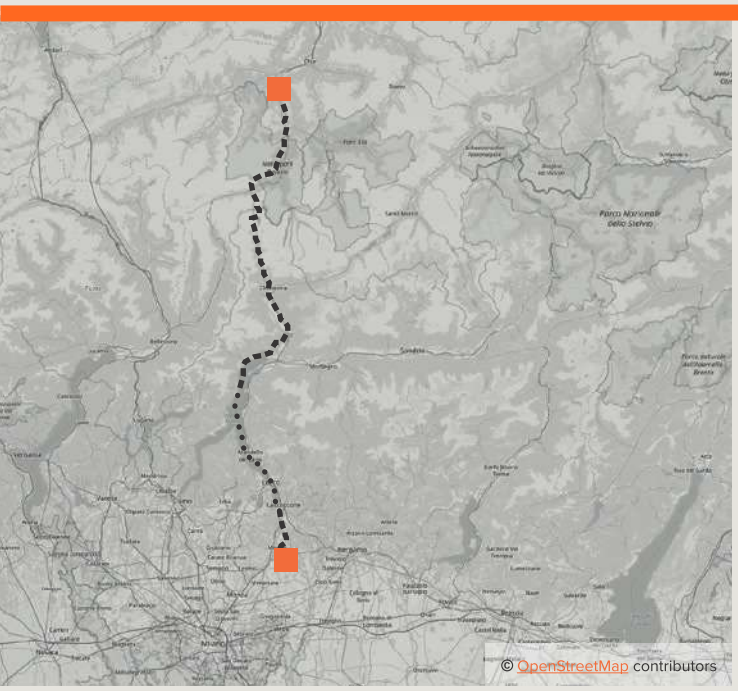


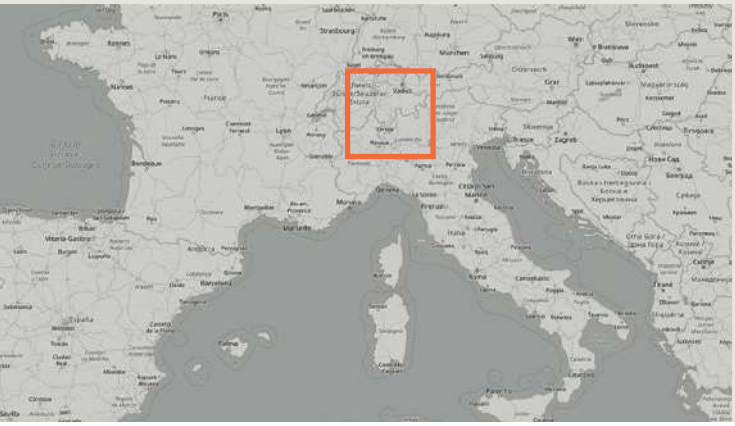
Baixas-Santa Llogaia

Location France - Spain	**Technology** Underground high voltage direct current		
Owner/operator INELFE	**Route characteristics** The central part of the line crosses the Pyrenees at the Albera massif. An 8.5 km tunnel was built for this section.		
Project status In service	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Baixas (France) and Santa Llogaia (Spain)		
Actual/planned energisation date 2015	**Network configuration/connection type** Point-to-point		
Capacity 2 x 1000 MW	**Capital cost** 700 million EUR		
Voltage 320 kV DC	**Construction duration** -		
Route length 64.5 km	**External drivers/issues** Interconnection between France and Spain		
Circuit length 2 x 64.5 km			

BritNed

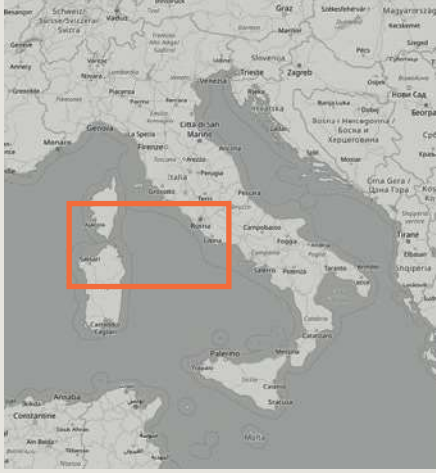
Location UK - Netherlands	**Technology** High voltage direct current subsea cable	**Capacity** 1 x 1000 MW	**Capital cost** 600 million EUR
Owner/operator BritNed Development Limited	**Route characteristics** Subsea	**Voltage** 450 kV DC	**Construction duration** Q3 2009 - Q2 2011
Project status In service	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Maaskvlakte and Grain	**Route length** 260 km	**External drivers/issues** Interconnection between UK and Netherlands. Length of route and requirement for subsea cable led to HVDC technology
Actual/planned energisation date 2011	**Network configuration/connection type** Point-to-point	**Circuit length** 1 x 250 km subsea, 1 x 10 km underground	





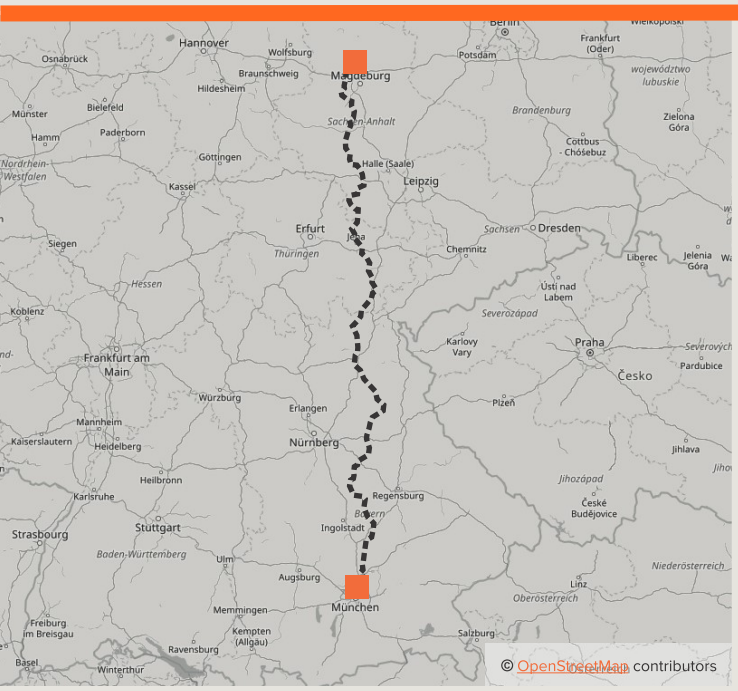
Greenconnector

Location Italy - Switzerland	**Technology** Underground and submarine high voltage direct current		
Owner/operator Worldenergy SA	**Route characteristics** Part of the circuit will utilise an existing oil pipeline that is no longer in use. 47 km submarine cables (Como Lake)		
Project status Consented	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Sils and Verderio Inferiore		
Actual/planned energisation date 2021	**Network configuration/connection type** Point-to-point		
Capacity 1 x 1000 MW	**Capital cost** 660 million EUR		
Voltage 400 kV DC	**Construction duration** Estimated completion in 2021		
Route length 150 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support transmission of renewable energy through the Alps. Minimisation of environmental impact was a priority, resulting in only underground/ submarine cables being considered		
Circuit length 1 x 150 km			



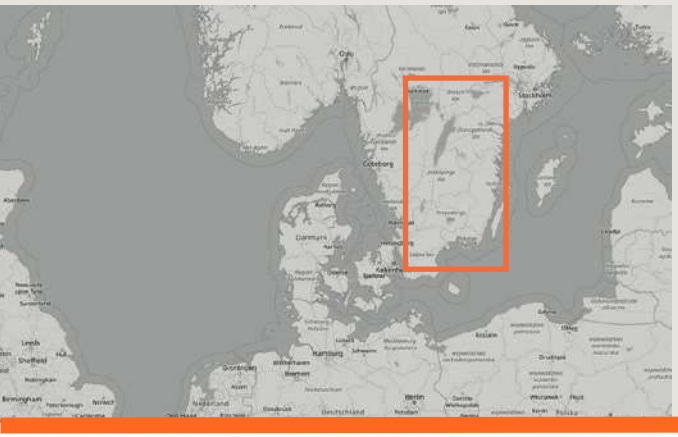
Sapei

Location Mainland Italy - Sardinia	**Technology** High voltage direct current subsea cable	**Capacity** 1 x 1000 MW	**Capital cost** -
Owner/operator Terna	**Route characteristics** Subsea	**Voltage** 500 kV DC	**Construction duration** -
Project status In service	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Fiume Santo and Latina	**Route length** 435 km	**External drivers/issues** Additional connection between mainland Italy and Sardinia. Length of route and requirement of subsea cable led to HVDC technology
Actual/planned energisation date 2010	**Network configuration/connection type** Point-to-point	**Circuit length** 1 x 435 km	



SuedOstLink

Location Germany	**Technology** Underground high voltage direct current		
Owner/operator 50Hertz, TenneT	**Route characteristics** -		
Project status Consented	**Terminal point infrastructure** New converter stations at Wolmirstedt and Isar		
Actual/planned energisation date 2022	**Network configuration/connection type** Point-to-point		
Capacity 1 x 2000 MW	**Capital cost** -		
Voltage TBC	**Construction duration** -		
Route length 580 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support transmission of renewable energy		
Circuit length 1 x 580 km			



SouthWest Link

Location Sweden	**Technology** Overhead high voltage alternating current. Mixed overhead and underground high voltage direct current
Owner/operator Svenska Kraftnat	**Route characteristics** -
Project status Under construction	**Terminal point infrastructure** AC substations at Hallsberg and Barkeryd with new converter stations at Barkeryd and Hurva
Actual/planned energisation date Q2 2019	**Network configuration/connection type** Point-to-point for DC Meshed network for AC
Capacity 2 x 600 MW	**Capital cost** -
Voltage 400 kV AC 300 kV DC	**Construction duration** 2013 - 2019
Route length 430 km	**External drivers/issues** Reinforcement of grid to support transmission of renewable energy. Additional western branch to Norway was planned but not built due to a revised analysis showing insufficient benefit
Circuit length 2 x 180km AC overhead 2 x 60km DC overhead 2 x 190km DC underground	

MOTT MACDONALD

Toekomstig Elia-net 2030

Stroomcorridor Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum

Technologiebeoordeling en benchmarkingstudie

5 maart 2019

Elia Engineering NV

Mott MacDonald
Victory House
Trafalgar Place
Brighton BN1 4FY
Verenigd
Koninkrijk

T +44 (0)1273 365000
F +44 (0)1273 365100
mottmac.com

Elia Engineering
NV Leon
Monnoyerkaai 3 B-
1000 Brussel

Toekomstig Elia-net 2030

40318 Stroomcorridor Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum Technologiebeoordeling en benchmarkingstudie

5 maart 2019

Mott MacDonald Limited. Geregistreerd in Engeland en Wales onder het nr. 1243967.
Maatschappelijke zetel: Mott MacDonald House, 8-10 Sydenham Road, Croydon CR0 2EE, Verenigd Koninkrijk

Elia Engineering NV

Uitgave- en revisiegeschiedenis

Revisie	Datum	Opsteller	Controleur	Goedkeurder	Omschrijving
A	11-12-18	P Lear C Blair B Barrett	P Fletcher	P Fletcher	Eerste uitgave
B	20-12-18	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Tweede uitgave
C	05-03-19	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Laatste uitgave

Documentreferentie: 403182 | 01 | C

Informatieklasse: standaard

Dit Rapport is uitsluitend opgesteld voor gebruik door de partij die er opdracht toe heeft gegeven (ELIA) in verband met het genoemde project. Het mag voor geen enkel ander doel worden gebruikt. Alleen ELIA of partijen die uitdrukkelijk vertrouwensvoorwaarden met ons zijn overeengekomen (de 'Ontvanger(s)'), mogen vertrouwen op de inhoud, de informatie of de standpunten in het Rapport. Dit Rapport bevat door eigendomsrechten beschermde intellectuele eigendom en wij aanvaarden geen zorgvuldigheidsplicht, verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid ten aanzien van enige andere ontvanger van dit Rapport. Geen enkele verklaring, garantie of verbintenis, uitdrukkelijk of impliciet, wordt gegeven en geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid wordt door ons aanvaard ten aanzien van enige andere partij dan ELIA of de Ontvanger(s), wat betreft de nauwkeurigheid of de volledigheid van de informatie in dit Rapport. Voor alle duidelijkheid: dit Rapport beoogt op geen enkele wijze advies of opinies op juridisch, verzekerings- of financieel gebied te geven.

Wij wijzen alle aansprakelijkheid af, ongeacht of die voortvloeit uit een onrechtmatige daad, een contract of anderszins, die wij zouden kunnen hebben ten aanzien van een andere partij dan ELIA of de Ontvanger(s), met betrekking tot dit Rapport of de informatie die het bevat. Wij aanvaarden geen verantwoordelijkheid voor een fout of weglating in het Rapport die te wijten is aan een fout of weglating in gegevens, informatie of verklaringen die ons door andere partijen, waaronder ELIA, zijn verstrekt (de 'Gegevens'). We hebben de Gegevens niet onafhankelijk geverifieerd of op een andere wijze onderzocht om de nauwkeurigheid, de volledigheid, de toereikendheid voor een bepaald doel of de haalbaarheid voor een bepaald resultaat, ook financieel, vast te stellen.

De prognoses in dit document zijn opgesteld met behulp van de Gegevens en het Rapport is afhankelijk van of gebaseerd op de Gegevens. Het is onvermijdelijk dat sommige van de veronderstellingen die voor de opstelling van de prognoses zijn gebruikt, niet zullen uitkomen en dat er zich onverwachte gebeurtenissen en omstandigheden zullen voordoen. Bijgevolg kunnen wij de conclusies in het Rapport niet garanderen of waarborgen, aangezien er waarschijnlijk verschillen zullen zijn tussen de prognoses en de werkelijke resultaten, en die verschillen belangrijk kunnen zijn. Hoewel wij van mening zijn dat de in dit Rapport verstrekte informatie en adviezen gegrond zijn, moeten alle partijen op hun eigen bekwaamheid en oordeel afgaan wanneer ze er gebruik van maken.

De informatie en adviezen zijn slechts actueel op de datum van het Rapport en wij aanvaarden geen verantwoordelijkheid voor de bijwerking van dergelijke informatie of adviezen. Daarom mag er niet van worden uitgegaan dat dergelijke informatie of adviezen na de datum van het Rapport nog altijd juist zijn. In geen geval mag dit Rapport of een uittreksel of samenvatting ervan worden gebruikt in verband met een openbaar of particulier effectenaanbod, met inbegrip van een bijbehorend memorandum of prospectus voor een effectenaanbod of een beursnotering of -aankondiging.

Door dit Rapport te aanvaarden, stemt u ermee in gebonden te zijn door deze disclaimer. Deze disclaimer en alle kwesties, geschillen of vorderingen die eruit voortvloeien of ermee verband houden (hetzij contractueel of niet-contractueel van aard, zoals vorderingen als gevolg van een onrechtmatige daad, een schending van de wet of regelgeving of anderszins), worden geregeld door en geïnterpreteerd overeenkomstig de Belgische wetgeving, met uitsluiting van alle beginselen en regels omtrent wetsconflicten. Alle geschillen of vorderingen die voortvloeien uit of verband houden met deze disclaimer, vallen onder de exclusieve bevoegdheid van de rechtbanken van Brussel, waaraan de partijen zich onherroepelijk onderwerpen.

Inhoud

1 Inleiding 1

2 Context en achtergrond 2

2.1 Voorstelling van Elia 2
2.2 Behoeften van het Toekomstig Elia-net 2030 2
2.2.1 Een stroomsysteem in transformatie 2
2.2.2 Federaal Ontwikkelingsplan van Elia 2
2.2.3 Project Toekomstig Elia-net 2030 3
2.3 Verplichtingen van Elia 3
2.4 Grondbeginselen van het stroomsysteem 3
2.4.1 Beschrijving van een stroomsysteem 4
2.4.2 Transmissie- en distributienetten 4

3 Technologieopties voor stroomcorridors 5

3.1 Technologieopties 5
3.2 Technische eisen voor stroomcorridors 5

4 Vergelijking van wisselstroomopties 6

4.1 Vergelijking van de kosten van een bovengrondse wisselstroomleiding en een ondergrondse wisselstroomkabel 6
4.2 Bovengrondse hoogspanningswisselstroomleiding 6
4.2.1 Bouw van bovengrondse leidingen 6
4.2.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van bovengrondse leidingen 8
4.2.3 Milieuoverwegingen in verband met bovengrondse leidingen 9
4.2.4 Samenvatting van de hoofdkenmerken van bovengrondse leidingen 9
4.3 Ondergrondse hoogspanningswisselstroomkabel 9
4.3.1 Overzicht van kabelsystemen 10
4.3.2 Bouw van ondergrondse kabels 10
4.3.3 Elektrische kenmerken van ondergrondse kabels 14
4.3.4 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van ondergrondse kabels 14
4.3.5 Milieuoverwegingen in verband met ondergrondse kabels 15
4.3.6 Samenvatting van de hoofdkenmerken van ondergrondse kabels 15
4.4 Gedeeltelijk ondergrondse aanleg van bovengrondse HVAC-leiding 15
4.5 Gasgeïsoleerde leiding 16
4.5.1 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van gasgeïsoleerde leidingen 18
4.5.2 Milieuoverwegingen in verband met gasgeïsoleerde leidingen 18
4.5.3 Conclusie in verband met gasgeïsoleerde leidingen 18
4.6 Supergeleidende kabel 18

5 HVDC als alternatief voor HVAC 19
5.1 HVDC-technologiebeoordeling 20
5.1.1 Convertorconfiguraties 20
5.1.2 Systeemconfiguraties 21
5.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid 22
5.3 Technische problemen in verband met HVDC 22
5.3.1 Vergemakkelijking van toekomstige netaansluitingen 22
5.3.2 Stroomomkering 22
5.4 Belangrijkste technologierisico's 23
5.5 Conclusie in verband met HVDC als alternatief voor HVAC 23

6 Benchmarkingstudie naar soortgelijke projecten in Europa 24
6.1 Onderzoeksmethode 24
6.2 Samenvatting van de geselecteerde projecten 24
6.3 Fiches 25

7 Wereldwijde trends 27

8 Woordenlijst van technische termen en acroniemen 29

Bijlagen 31

A. Projectfiches 32

1 Inleiding

Elia Engineering heeft Mott MacDonald de opdracht gegeven om een beoordeling uit te voeren van de technologieopties voor hoogspanningscorridors, met inbegrip van een benchmarking van relevante projecten binnen Europa. De beoordeling zal ook een beeld geven van de algemene trends in de wereld.

In dit rapport worden de beschikbare technologieën voorgesteld en wordt een samenvatting gegeven van soortgelijke projecten, waarbij ook wordt nagegaan welke factoren de keuze van de technologieën hebben bepaald.

2 Context en achtergrond

2.1 Voorstelling van Elia

Elia is de eigenaar en beheerder van het Belgische hoogspanningselektriciteitstransmissienet. De eigendommen omvatten alle Belgische elektriciteitsnetinfrastructuur van 150 kV, 220 kV en 380 kV, en bijna 94% van de netinfrastructuur tussen 30 kV en 70 kV. Het net van Elia bestaat uit 3000 km aan bovengrondse leidingen, 5500 km aan ondergrondse kabels en 800 onderstations.

Hoofdactiviteiten van Elia:

- Beheer van de infrastructuur: onderhoud en ontwikkeling van het net, en aansluiting van elektrische installaties op het net;
- Beheer van het elektriciteitssysteem: verlening van toegang tot het net op een eenvoudige, objectieve en transparante manier, volledige dienstverlening voor het transport van elektriciteit, controle van de stromen op het net om na te gaan of de elektriciteit vlot stroomt, en beheer gedurende 24 uur per dag van het evenwicht tussen het elektriciteitsverbruik en de elektriciteitsproductie;
- Facilitering van de markt: ontwikkeling van initiatieven om de werking van de elektriciteitsmarkt te verbeteren, en terbeschikkingstelling van de infrastructuur ervan op een transparante, niet-discriminerende manier aan alle marktspelers. Elia ontwikkelt diensten en mechanismen die de markt in staat stellen om op verschillende platforms handel te drijven, wat het economische concurrentievermogen en het welzijn bevordert.

2.2 Behoeften van het Toekomstig Elia-net 2030

2.2.1 Een stroomsysteem in transformatie

Het Belgische stroomsysteem ondergaat een transformatie.

Zoals vele stroomsystemen in de wereld wordt dit systeem van oudsher gedomineerd door een klein aantal zeer grote, gecentraliseerde thermische centrales.

In het huidige stroomsysteem moet energie worden opgenomen die afkomstig is van vele stroomopwekkingsbronnen en -technologieën, en wordt er meer internationale energie uitgewisseld. Het net van Elia is een belangrijke verbinding tussen Frankrijk, de grootste exporteur van elektriciteit in Europa, en de markten in Noord-Europa.

Tegelijkertijd staat Elia voor de uitdaging om een energiesysteem tot stand te brengen dat duurzaam, betaalbaar en betrouwbaar is. Dit staat bekend als het "energietrilemma".

Er is een aanzienlijke uitbreiding en versterking van het Belgische net nodig om de huidige uitdagingen aan te gaan, en om een toenemende opwekking uit hernieuwbare bronnen te ondersteunen overeenkomstig de beleidsdoelstellingen.

2.2.2 Federaal Ontwikkelingsplan van Elia

Het Federaal Ontwikkelingsplan van Elia bestrijkt een periode van 10 jaar en wordt om de 4 jaar aangepast en gepubliceerd. Het wordt ontwikkeld in samenwerking met de Federale Overheidsdienst Economie en het Federaal Planbureau.

In het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 worden de capaciteitsbehoeften voor het Belgische hoogspanningsnet (150 kV, 220 kV en 380 kV) voor de periode tussen 2020 en 2030 geïdentificeerd, en wordt het investeringsprogramma beschreven dat nodig is om het plan te verwezenlijken.

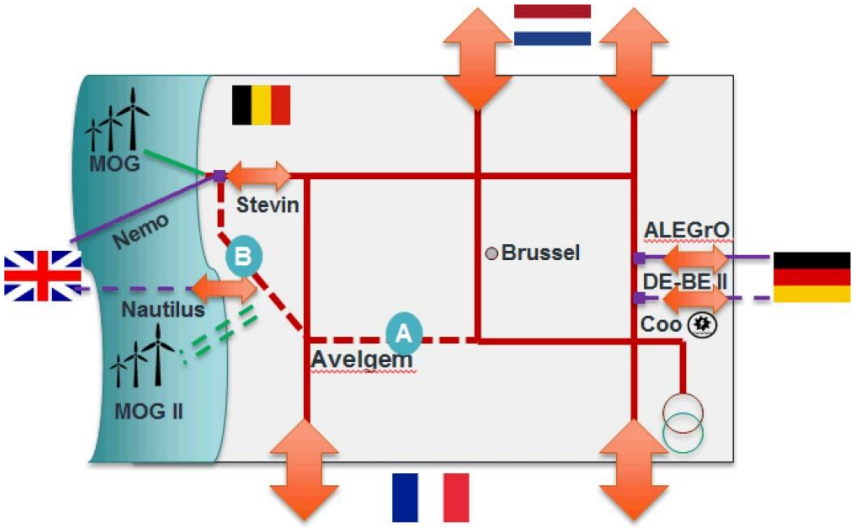
Het plan omvat de versterking van het transmissienet van 380 kV, de integratie van extra offshore windenergieopwekking en de ontwikkeling van interconnecties met andere landen.

2.2.3 Project Toekomstig Elia-net 2030

Het project Toekomstig Elia-net 2030 is opgenomen in het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030:

- Realisatie van een nieuwe verbinding van 6 GW (2 x 3 GW) tussen Stevin en Avelgem, de Stevin-Avelgem-corridor
- Realisatie van een nieuwe verbinding van 6 GW (2 x 3 GW) tussen Avelgem en het centrum van het land, de Avelgem-Centrum-corridor

Figuur 1: Toekomstig Elia-net 2030



Bron: Elia

2.3 Verplichtingen van Elia

Elke technologieoptie moet worden bekeken in de context van de wettelijke en reglementaire verplichtingen van Elia. Voor alle nieuwe ontwikkelingen worden de volgende verplichtingen in aanmerking genomen:

1. Veiligheid - Naleving van alle relevante veiligheidsnormen
2. Betrouwbaarheid en beschikbaarheid - De mate waarin het net beschikbaar is voor gebruik, rekening houdend met de storingsduur voor geplande en ongeplande gevallen van niet-beschikbaarheid.
3. Robuustheid en flexibiliteit - Het vermogen van het net om niet-standaard bedrijfsomstandigheden en netstoringen te weerstaan zonder verlies van stroomvoorziening, en het voorzien van toekomstige netaansluitingen en -verzwaringen.
4. Economische efficiëntie - Voorziening van een kosteneffectieve oplossing die aan de eisen van het project voldoet, met gelijktijdige beheersing van de kosten gedurende de levensduur van de ontwikkeling.

2.4 Grondbeginselen van het stroomsysteem

Het is nuttig om enige historische en technische basiscontext te begrijpen over een systeem voor elektrische energie, ook wel een systeem voor elektrische stroom genoemd.

2.4.1 Beschrijving van een stroomsysteem

Aangezien grote hoeveelheden energie niet gemakkelijk kunnen worden opgeslagen, moet elektriciteit worden geproduceerd zodra ze nodig is. Het net moet ook snel kunnen reageren op een veranderende vraag.

Elektriciteit wordt geproduceerd door generatoren. Generatoren gebruiken verschillende brandstofbronnen om elektriciteit te produceren.

Van oudsher zijn er een klein aantal grote, gecentraliseerde thermische centrales die steenkool, gas, olie en kernbrandstof als brandstof gebruiken. Deze centrales zijn over het algemeen ver verwijderd van gebieden met een grote vraag naar elektriciteit.

In het stroomsysteem van vandaag wekken grote centrales elektriciteit op uit hernieuwbare energiebronnen en zijn er grote internationale aansluitingen, de zogenaamde interconnectoren.

Er is een toenemend aantal kleinere generatoren die zich dichter bij de vraag naar elektriciteit bevinden, en waarvan vele gebruik maken van hernieuwbare bronnen zoals wind- en zonne-energie.

Grote generatoren zijn aangesloten op het nationale transmissienet en kleinere generatoren zijn aangesloten op regionale netten die op lagere spanningen werken, de zogenaamde distributienetten.

2.4.2 Transmissie- en distributienetten

Transmissie- en distributienetten kunnen worden vergeleken met het wegennet van een land. In plaats van voertuigen vervoeren de netten elektriciteit. Het transmissienet is het equivalent van het net van nationale autosnelwegen; de distributienetten zijn het equivalent van de regionale netten van secundaire wegen.

Elektriciteit wordt in bulkhoeveelheden overgebracht via het transmissienet en wordt via distributienetten teruggebracht tot kleinere, beter beheerbare hoeveelheden voor levering aan de verbruikers.

Om grote hoeveelheden elektriciteit efficiënt over een lange afstand te vervoeren, wordt de spanning verhoogd, net zoals de druk van water wordt verhoogd om volumes via een pijpleiding te vervoeren. De spanning kan worden beschouwd als een maat voor de elektrische druk.

Transmissie- en distributienetten bestaan uit onderstations, bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels. Onderstations regelen energiestromen en wijzigen de spanningen tussen het transmissie- en het distributienet. Bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels vervoeren de stroom over afstanden tussen onderstations.

De elektrische basiskenmerken van een transmissiecircuit worden gewoonlijk beschreven aan de hand van de spanning in kilovolt (kV) en het nominale vermogen in megawatt (MW) of gigawatt (GW), waarbij 1 GW gelijk is aan 1000 MW. 1 MW is gelijk aan 1000 kW. Een elektrische waterkoker verbruikt ongeveer 2 kW vermogen.

Over de hele wereld wordt de elektrische stroom hoofdzakelijk overgebracht via hoogspanningswisselstroom (‘High Voltage Alternating Current’, HVAC), waarbij gebruik wordt gemaakt van technologie voor bovengrondse leidingen. In sommige omstandigheden wordt technologie voor ondergrondse kabels gebruikt.

Hoogspanningsgelijkstroom (‘High Voltage Direct Current’, HVDC) wordt gebruikt voor gespecialiseerde behoeften en speelt een steeds belangrijkere rol in transmissienetten.

3 Technologieopties voor stroomcorridors

3.1 Technologieopties

In dit rapport worden de volgende technologieopties voor hoogspanningscorridors in overweging genomen:

- Bovengrondse leidingen
- Ondergrondse kabels
- Hoogspanningsgelijkstroom (‘High Voltage Direct Current’, HVDC) als alternatief voor hoogspanningswisselstroom (‘High Voltage Alternating Current’, HVAC)

Over de hele wereld verloopt de overbrenging van elektrische stroom in bulkhoeveelheden hoofdzakelijk via HVAC. HVAC maakt het gemakkelijk om elektriciteit te verplaatsen, aangezien hij snel en automatisch reageert op veranderende elektriciteitsbehoeften in het hele net, in reële tijd.

Het overgrote deel van HVAC wordt overgebracht met behulp van technologie voor bovengrondse leidingen.

In het transmissienet worden ondergrondse kabels meestal gebruikt waar bovengrondse leidingen niet haalbaar zijn, bijvoorbeeld in stedelijke gebieden, voor lange oversteken over water of doorkruisingen van gebieden met een hoge milieugevoeligheid.

De technologieën voor bovengrondse en ondergrondse HVAC-kabels worden meer in detail besproken in hoofdstuk 4 van het rapport. Gasgeïsoleerde leidingen en supergeleidende kabels, die zijn voorgesteld als alternatieve ondergrondse technologieën, worden ook besproken in hoofdstuk 4.

In sommige omstandigheden wordt HVDC-technologie boven HVAC verkozen. HVDC als alternatief voor HVAC wordt meer in detail besproken in hoofdstuk 5 van het rapport.

3.2 Technische eisen voor stroomcorridors

De stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030 stelt de volgende eisen aangaande de technische functionaliteit:

Tabel 1: technische basiseisen

Criteria	Eis
Stroomcapaciteit	6 GW
Redundantie	50% beschikbaarheid na een enkelvoudige netstoring (d.w.z. dat er ten minste twee onafhankelijke circuits van 3 GW nodig zijn, of een capaciteit van 2 x 3 GW)
Lengte	50-100 km
Voorziening voor toekomstige extra aansluitingen op de nieuwe leidingen	Vereist

4 Vergelijking van wisselstroomopties

Op dit ogenblik beheert Elia het transmissienet op 150 kV, 220 kV en 380 kV.

380 kV wordt beschouwd als de meest geschikte wisselstroombedrijfsspanning voor de stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030 om aan de vereiste stroomtransmissiecapaciteit ervan te voldoen. Door de spanning te verhogen, vermindert de stroom die door de leidingen gaat, waardoor het vermogensverlies afneemt.

Geleiders die elektriciteit overbrengen, moeten elektrisch geïsoleerd zijn om veilig en betrouwbaar te kunnen werken. Een groot verschil tussen bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels is de manier waarop ze zijn geïsoleerd. Geleiders van bovengrondse leidingen zijn geïsoleerd met lucht, behalve waar ze aan masten zijn bevestigd, terwijl ondergrondse kabels over hun volledige lengte zijn omsloten door een laag isolatiemateriaal. In dit opzicht is het ontwerp van een hoogspanningskabel in principe gelijk aan dat van een laagspanningsvoedingskabel voor een huishoudapparaat.

Lucht is de goedkoopste en eenvoudigste isolator die er is. Deze isolator heeft ook het voordeel dat de warmte die wordt geproduceerd door de elektriciteit die door de geleiders gaat, efficiënt wordt afgevoerd door de natuurlijke luchtstroom.

De elektrische isolatiematerialen die op de kabels worden aangebracht, fungeren ook als thermische isolatie. Wegens dit effect, en door de ingraving van kabels in de grond, wordt de warmte die door vermogensverliezen in de geleider wordt geproduceerd, veel langzamer afgevoerd zodat de energiestroom moet worden verminderd om te voorkomen dat de kabels oververhit raken.

4.1 Vergelijking van de kosten van een bovengrondse wisselstroomleiding en een ondergrondse wisselstroomkabel

De kosten van het beheer, het onderhoud en vermogensverliezen gedurende de levensduur van een wisselstroomtransmissiecircuit zijn in grote lijnen dezelfde voor bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels.

De bouwkosten lopen sterk uiteen naargelang van vele factoren, zoals de lengte van het traject, de stroomcapaciteit, de bodemgesteldheid en de fysieke kenmerken van het landschap.

Ondergrondse kabels zijn altijd duurder dan equivalente bovengrondse leidingen.

De belangrijkste elementen van dit kostenverschil zijn te wijten aan de betrekkelijk hogere kosten van de kabel zelf en de kosten van de civieltechnische werkzaamheden die nodig zijn om de kabels in de grond te installeren.

4.2 Bovengrondse hoogspanningswisselstroomleiding

Het overgrote deel van het transmissienet in Europa en de rest van de wereld bestaat uit bovengrondse wisselstroomleidingen.

4.2.1 Bouw van bovengrondse leidingen

Geleiders hebben over het algemeen een meeraderige constructie, met geleidingsdraden uit aluminium of een aluminiumlegering. Staaldraden kunnen worden gebruikt voor de stevigheid. In sommige moderne geleiders is staal vervangen door composietmaterialen. De geleiders zijn in bundels geschikt en worden ondersteund door isolatoren die de geleiders van masten isoleren. Voor bovengrondse leidingen van 380 kV wordt van oudsher gebruik gemaakt van stalen vakwerkmasten, maar er zijn andere types structuren ontwikkeld, waaronder elementen van beton, gevouwen staal of composietmateriaal.

Een bovengrondse leiding draagt in het algemeen één of twee circuits, waarbij elk circuit uit drie fasen bestaat. In sommige gevallen zal een stel masten echter extra distributiecircuits dragen. De onderstaande figuur toont een stalen vakwerkmast die aan elke kant één circuit draagt. De draden bovenaan de mast zijn aardleidingen die de geleiders beschermen tegen blikseminslagen, en optische vezels dragen om communicatieverbindingen te ondersteunen.

In ontwerpen van bovengrondse leidingen worden drie basisstructuren gebruikt: één om in een rechte lijn te gaan (een hangmast), één om rond hoeken te gaan (een hoekmast) en één aan elk uiteinde van het circuit om de leiding op een onderstation aan te sluiten (een eindmast).

Figuur 2: Stalen vakwerkmast van 380 kV

Bron: Elia

De geleider kan een afzonderlijke of een gebundelde configuratie hebben (de illustratie toont een voorbeeld van een dubbele bundel). De grootte en de configuratie van de geleiders worden gekozen op basis van de capaciteitsbehoeften van het circuit, en de opstelling wordt zo ontworpen dat akoestische ruis en elektrische verliezen worden beperkt.

De blanke geleiders worden van de masten geïsoleerd door stellen isolatoren van porselein, glas of combinaties van composiet- en polymeermaterialen.

De hoogte van de masten en de afstand tussen de masten worden zo gekozen dat een minimale veilige geleiderhoogte boven de grond wordt aangehouden. De geleiders zetten uit naarmate de temperatuur stijgt waardoor ze dichter bij de grond komen te hangen, en daarom moet bij het ontwerp rekening worden gehouden met een worstcasescenario van weers- en bedrijfsomstandigheden.

Vertrouwen op lucht als isolatie leidt tot een betrekkelijk grote installatie wegens de fysieke afstand die rond de geleiders moet worden voorzien. Hoe hoger de spanning, hoe groter de vereiste vrije ruimte rond de geleider en dus de behoefte aan grotere zendmasten.

Masten van 380 kV staan gewoonlijk op een afstand van ongeveer 350-400 m van elkaar.

Figuur 3: Twee trajecten van bovengrondse leidingen van 380 kV met een dubbel circuit

Bron: Elia

De geleiders worden aan elk uiteinde van de leiding tot op grondniveau gebracht om te worden aangesloten op grondgemonteerde onderstationsapparatuur of op een ondergrondse kabel.

4.2.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van bovengrondse leidingen

De beschikbaarheid van het transmissiecircuit wordt beïnvloed door geplande onderhoudsactiviteiten en ongeplande storingen. In beide gevallen moet het circuit worden uitgeschakeld, waardoor het niet meer beschikbaar is voor gebruik.

Gepland onderhoud wordt op een strategische en gecoördineerde manier uitgevoerd, om de impact op de beschikbaarheid van het net tot een minimum te beperken.

Anderzijds kunnen ongeplande storingen zeer verstorend zijn. Daarom is het van belang om na te gaan welk effect ze kunnen hebben op de beschikbaarheid van het transmissienet.

Storingen van bovengrondse leidingen kunnen worden gecategoriseerd als tijdelijk of aanhoudend, afhankelijk van hun impact.

Wanneer zich een storing voordoet, wordt de getroffen leiding automatisch uitgeschakeld om schade te voorkomen of tot een minimum te beperken. De meeste storingen van bovengrondse leidingen zijn tijdelijk (vaak veroorzaakt door weersinvloeden). Daarom worden geprogrammeerde schakelsequenties gebruikt om de leiding na een korte vertraging opnieuw onder spanning te brengen.

Als de storing tijdelijk blijkt te zijn, wordt de leiding onmiddellijk opnieuw in gebruik genomen, vaak met een minimale onderbreking van de stroomvoorziening aan de klant. Wanneer schade echter tot een aanhoudende storing leidt, zal het niet lukken om de leiding opnieuw onder spanning te brengen en moet de leiding buiten dienst worden gesteld. De schade kan dan gemakkelijk visueel worden vastgesteld en meestal binnen enkele dagen worden gerepareerd.

4.2.3 Milieuoverwegingen in verband met bovengrondse leidingen

De aanleg van bovengrondse leidingen is een complex proces waarbij een evenwicht moet worden gevonden tussen de wettelijke verplichtingen, de technische eisen, de economische levensvatbaarheid, het grondgebruik en het milieu.

Bovengrondse leidingen zijn grote lineaire bouwprojecten en zijn in verschillende mate van invloed op visuele en andere milieuaspecten van het landschap dat ze doorkruisen.

Het is belangrijk om nieuwe bovengrondse leidingen zorgvuldig aan te leggen, en hierbij moeten welomschreven richtlijnen en regels worden gevolgd om het effect op het milieu tot een minimum te beperken. De keuze van de trajectoptie en het overleg met belanghebbenden maken deel uit van de aanlegprocedure.

Tijdens de bouw wordt de corridor van de bovengrondse leiding vrijgemaakt van bomen en andere hoge vegetatie. Lage vegetatie kan echter blijven staan. Aarde en grond worden op de plaats van de masten verwijderd om de installatie van de funderingen te vergemakkelijken.

Tijdens het gebruik van de leiding moet de vegetatie steeds op veilige afstand worden gehouden.

Wanneer grond wordt gebruikt voor landbouwdoeleinden, of in open veld- en heidehabitats, zal er waarschijnlijk geen noemenswaardige beperking op het grondgebruik zijn zodra het herstel is voltooid na de installatie van de kabels.

De bouw van gebouwen is gewoonlijk niet toegestaan onder bovengrondse leidingen en alle bouwwerkzaamheden in de nabijheid van de leiding moeten zorgvuldig worden gepland en gecontroleerd.

4.2.4 Samenvatting van de hoofdkenmerken van bovengrondse leidingen

De technologie van bovengrondse hoogspanningsleidingen biedt een robuuste en kosteneffectieve oplossing voor de transmissie van grote hoeveelheden elektriciteit over lange afstanden.

Een bovengrondse leiding heeft een hoge graad van beschikbaarheid en de meeste storingen kunnen gemakkelijk en snel worden opgespoord en verholpen.

Bovengrondse leidingen zijn een flexibele technologie die in een groot aantal geofysische en topografische omgevingen kan worden aangelegd en in elkaar gezet. Ze hebben een betrekkelijk geringe fysieke impact op het land.

Bovengrondse leidingen zijn mogelijk niet geschikt voor sommige stedelijke regio's of gebieden met een hoge milieugevoeligheid. Ondergrondse kabels zijn vaak een alternatief in deze gevallen.

4.3 Ondergrondse hoogspanningswisselstroomkabel

Ondergrondse kabels spelen een belangrijke rol in transmissienetten, omdat ze een alternatieve oplossing bieden voor bovengrondse leidingen om elektriciteit over te brengen op plaatsen waar bovengrondse leidingen niet kunnen worden gebruikt. Ondergrondse kabels worden meestal geïnstalleerd in stedelijke of milieugevoelige gebieden.

Ondergrondse kabels van 380 kV maken minder dan 0,5% uit van de wisselstroomtransmissiesystemen van 380 kV te land in West-Europa, terwijl voor ongeveer 99,5% bovengrondse leidingen worden gebruikt.

4.3.1 Overzicht van de kabelsystemen

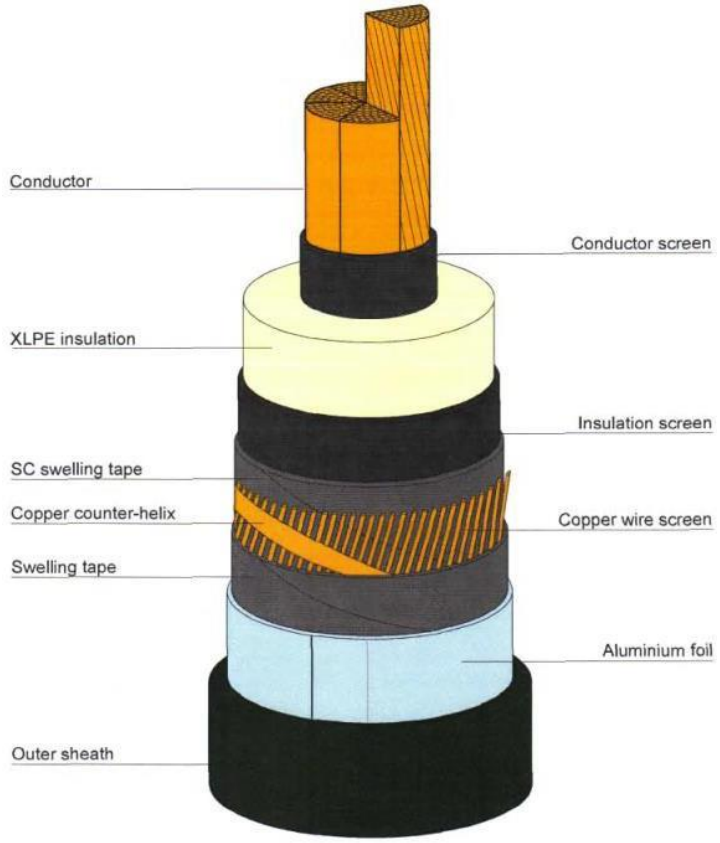
Tot in de jaren 1980 waren de kabelisolatiesystemen bijna uitsluitend gebaseerd op het gebruik van in olie ondergedompeld isolatiepapier. Kabels van dit type worden met vloeistof gevulde kabels genoemd.

Systemen voor met vloeistof gevulde kabels worden tegenwoordig zelden geïnstalleerd wegens de milieurisico's in verband met lekkende olie uit beschadigde kabels, de complexiteit van de constructie en de installatie, de verminderde productiemogelijkheden/beschikbaarheid en de economische aspecten.

Meer recent wordt voor moderne ondergrondse kabels een hoogwaardig isolatiemateriaal gebruikt, verknoopt polyethyleen (XLPE) genaamd. XLPE biedt verschillende economische en milieuvoordelen in vergelijking met olie en is de isolatie bij uitstek geworden voor hoogspanningstransmissie.

Kabelgeleiders kunnen worden gemaakt van koper of aluminium, waarbij koper over het algemeen wordt gekozen voor kabels van 380 kV vanwege de grotere stroomvoercapaciteit. Voor grotere geleiderformaten, zoals geleiders die in toepassingen van 380 kV worden gebruikt, worden segmentale draadgeleiders gebruikt om elektrische verliezen te helpen verminderen.

Figuur 4: Ondergrondse kabel van 380 kV



Bron: Nexans

4.3.2 Constructie van ondergrondse kabels

Het kabelisolatiemateriaal zal blijvende schade oplopen als de temperatuur van de hoofdgeleider de vastgestelde grenzen overschrijdt. De warmte die wordt geproduceerd door de elektriciteit die door de geleider gaat, kan niet zoals bij een bovengrondse leiding door de natuurlijke luchtstroom worden afgevoerd.

De stroomcapaciteit van een kabelsysteem is dus afhankelijk van het vermogen om de warmte van de kabelgeleider naar de omgeving af te voeren.

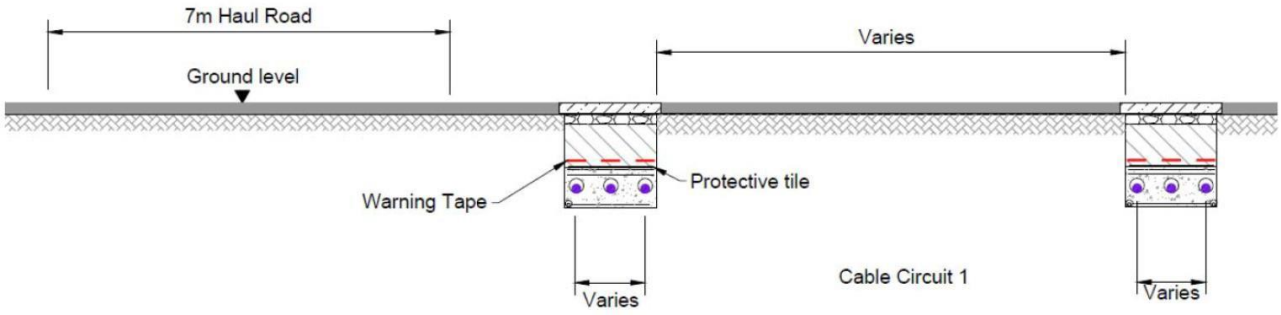
De warmtewinst kan worden beperkt door het formaat van de geleider te vergroten. Daarom zijn de kabelgeleiders vaak veel groter dan die van een equivalente bovengrondse leiding. Bij systemen met kabels met een hoog vermogen worden vaak extra geleiders gebruikt, om het geleideroppervlak te vergroten en de totale warmtewinst te beheersen. Daardoor kan ook meer warmte worden afgevoerd en wordt dus de capaciteit van het circuit vergroot.

Het vermogen om de warmte van de kabelgeleider weg te voeren, is belangrijk en wordt beïnvloed door de installatieomstandigheden, waaronder:

- Ingraafdiepte
- Grondtemperatuur
- Warmtegeleidingsweerstand van de grond

De bovenstaande factoren bepalen de afstand tussen de kabels om de vereiste warmteoverdracht te bereiken. Grote tussenruimten maken hogere warmteoverdrachtscoëfficiënten mogelijk, maar kunnen resulteren in een aanzienlijke breedte van de kabeltrajectcorridor. Figuur 5 toont een typische installatie van 380 kV met één circuit, met twee kabels per fase. De afmetingen van de sleuven en de afstanden tussen de sleuven variëren naargelang van de bodemgesteldheid en de installatieomstandigheden.

Figuur 5: Typische installatie van 380 kV - met één circuit en twee kabels per fase (geschat nominaal vermogen van 2 GW)



Door voorzieningen voor bouwactiviteiten wordt de breedte van de corridor nog groter. Er is een speciale weg nodig om materialen van en naar de werf te vervoeren, en om de kabels te vervoeren. Er moet voldoende ruimte zijn voor het gebruik van de graafmachine en er moet over de volledige lengte van het traject ruimte zijn voor de tijdelijke opslag van uitgegraven materiaal.

Dit resulteert gewoonlijk in een bouwcorridor voor een installatie van 380 kV met twee circuits die ongeveer gelijk is aan de breedte van een autosnelweg. Tijdens de periode van de bouwactiviteit kan de totale breedte tot 80 m bedragen, waarbij de voltooide installatie ongeveer 20-30 m breed is.

Er zijn verschillende methoden om kabels te installeren, waaronder:

- Directe ingraving / open sleuven
- Kanaalinstallatie
- Oppervlaktegoten
- Tunnels
  - Diepgeboorde tunnels
  - Open tunnels
- Horizontaal gerichte boring

Directe ingraving is normaal gezien de goedkoopste methode voor de installatie van ondergrondse kabels, wanneer beperkingen op het grondgebruik geen probleem vormen. Kabels worden in sleuven gelegd die in de grond zijn uitgegraven en met zand (zand en cement) zijn omgeven om de warmteoverdracht te verbeteren. Er worden beschermkappen boven de kabels geplaatst en de sleuf wordt opgevuld met uitgegraven materiaal, waarbij ervoor wordt gezorgd dat in de bovenste laag weer bovengrond wordt aangebracht. De grond kan na de voltooiing over het algemeen opnieuw zoals voorheen worden gebruikt, hoewel er enkele beperkingen zijn.

Bij directe ingraving moet een volledige kabellengte (tot ongeveer 1 km) in één keer worden gelegd, zodat een lange sleuflengte moet worden opengehouden.

Figuur 6: Circuit van direct ingegraven kabels van 380 kV vóór opvulling

Bron: Elia

In sommige situaties kunnen de verstoring en de daarmee gepaard gaande kosten van uitgravingen voor directe ingraving buitensporig zijn. In die gevallen bestaat een alternatieve methode erin om de kabels te installeren in plastic buizen, kanalen genaamd.

Kanalen kunnen in kortere secties langs het kabeltraject worden geïnstalleerd, waardoor de lengte van de open sleuf wordt beperkt en dus het risico en de hinder voor het publiek worden verminderd. Kanalen kunnen vóór de kabellevering worden geïnstalleerd om installatietijd te besparen.

Een compactere installatieconfiguratie bestaat erin om de kabels in een betonnen oppervlaktegoot te installeren. De kabels worden in zand in de goten gelegd, die worden afgedekt met deksels van gewapend beton. De warmteoverdracht wordt verbeterd naarmate de kabels op geringere diepte worden geïnstalleerd. Deze techniek is beperkt tot ontwikkelde gebieden, omdat de blootliggende betonnen goten geen herstel van de landbouw mogelijk maken.

Wanneer het niet mogelijk is om de kabels dicht bij de oppervlakte te leggen, kunnen ze worden geïnstalleerd in speciaal daarvoor gebouwde tunnels of kunnen ze tunnels delen met andere infrastructuur. Installatie in tunnels is duur en wordt over het algemeen alleen overwogen wanneer andere installatiemethoden onaanvaardbare verstoringen zouden veroorzaken. De graafmethode en het tunnelontwerp hangen grotendeels af van de grootte van de vereiste tunnel en van de bodemgesteldheid.

Een tunnel vereist ten minste twee kopgebouwen die toegang verlenen voor onderhoud en voor de installatie van de kabels aan elk uiteinde. Wanneer de lengte meer dan 3 km bedraagt, kunnen verdere toegangsschachten nodig zijn om veiligheidsredenen en om de koeling te ondersteunen. De warmte wordt uit de tunnel afgevoerd door middel van geforceerde lucht met behulp van elektrische ventilatoren.

Figuur 7: Installatie van een tunnel voor een systeem met kabels van 380 kV

Bron: Elia

Het voordeel van het gebruik van diepe tunnels is dat op grondniveau normale ontwikkeling kan plaatsvinden. Er is ook een minimale verstoring langs het traject van de tunnel tijdens de bouw en het onderhoud.

Een alternatief voor een diepe tunnel is een open tunnel, die wordt gebouwd met voorgevormde betonnen secties die in een vooraf uitgegraven diepe open sleuf worden gelegd.

Bij veel van de hierboven geschetste methoden worden de kabels betrekkelijk dicht bij het grondniveau geïnstalleerd door oppervlakte-uitgraving.

Fysieke belemmeringen langs een traject kunnen echter een wijziging van de standaard installatieconfiguratie noodzakelijk maken bij mogelijke obstakels zoals rivieren, wegen, spoorwegen en bestaande ondergrondse openbare nutsvoorzieningen.

Horizontaal gerichte boring kan worden gebruikt voor speciale omstandigheden, zoals het oversteken van obstakels. Met een op afstand bediende boorkop wordt een gat geboord waardoor een kunststof kanaal wordt getrokken, en vervolgens wordt een kabel door het kanaal getrokken. Gerichte boring wordt over het algemeen gebruikt voor afstanden tot 100 m, hoewel veel langere installaties technisch haalbaar kunnen zijn naargelang van de aard van de grond.

Wanneer het traject langer is dan ongeveer 1 km, moeten de geïnstalleerde kabellengten worden samengevoegd om een volledig circuit te vormen. De verbindingen in de kabel zijn een kwetsbaar onderdeel en kunnen stukgaan als ze niet goed zijn gemonteerd. Voor direct ingegraven of kanaalinstallaties worden ondergrondse betonnen ruimten gebouwd die een geschikte omgeving bieden voor de verbinding van de kabels. Hoewel de ruimten met zand worden gevuld en de grond wordt hersteld, zal de apparatuur op grondniveau regelmatig onderhoud nodig hebben en moet er permanente toegang worden verleend.

Waar kabels overgaan in een bovengrondse leiding, zijn kabelafdichtingscompounds nodig. De compounds bevatten de hoogspanningsapparatuur die nodig is om de aansluiting tussen de lucht en het met XLPE geïsoleerde systeem te vergemakkelijken.

4.3.3 Elektrische kenmerken van ondergrondse kabels

Als gevolg van de extra isolatie rond een kabel houden wisselstroomkabels een deel van de energie die ze vervoeren vast, en slaan ze die energie op. Hoe langer de kabel is, hoe meer energie hij vasthoudt. Dit effect staat bekend als ‘elektrische capaciteit’. Zowel bovengrondse leidingen als ondergrondse kabels voegen elektrische capaciteit toe aan het net; maar door de fysieke constructie en installatie van een kabel is het effect veel groter bij systemen met ondergrondse kabels.

Door dit effect kunnen grote lengten aan ondergrondse kabels technische problemen veroorzaken, en zijn er beperkingen op de maximumlengte aan kabels van 380 kV die in een transmissienet kunnen worden geïnstalleerd. De maximumlengte hangt af van de specifieke net- en kabelsysteemparameters en zal voor elk specifiek geval verschillend zijn.

4.3.4 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van ondergrondse kabels

Over het algemeen zijn circuits van XLPE-kabels betrouwbaar en kennen ze een laag percentage ongeplande storingen. Er kunnen zich echter gevallen voordoen waarin een circuit uitvalt en moet worden gerepareerd. Om kabelstoringen te verhelpen, moet de schade worden gelokaliseerd, het defecte gedeelte van de kabel worden verwijderd en een vervangend gedeelte worden aangebracht (waarvoor nieuwe verbindingen moeten worden gemaakt). Voor kabelsystemen van 380 kV kunnen reparaties een dure en tijdrovende aangelegenheid zijn en een aanzienlijk effect hebben op de beschikbaarheid van het circuit.

Er zijn twee hoofdoorzaken van kabelstoringen:

- Defect onderdeel binnen het isolatiesysteem ten gevolge van een fabricage- of installatiefout
- Schade door een derde, meestal een aannemer die graafwerken uitvoert in verband met een ander project

Kabels kunnen ook worden beschadigd door aanhoudende elektrische overbelasting, hoewel die gevallen zelden voorkomen.

Het risico dat deze gebeurtenissen zich voordoen, is niet gemakkelijk te beheersen en de veerkracht van het transmissienet kan erdoor worden aangetast.

4.3.5 Milieuoverwegingen in verband met ondergrondse kabels

De installatie van transmissiekabels heeft een aanzienlijk geringer visueel effect dan bovengrondse leidingen; ondergrondse kabels hebben echter hun eigen milieu- en landschapsafwegingen.

Tijdens de aanleg worden grote hoeveelheden aarde en grond verwijderd om de ingraving van de ondergrondse kabels te vergemakkelijken. Dit is veel meer dan de verwijdering die nodig is bij de bouw van een equivalente bovengrondse leiding, waarbij uitgravingen beperkt zijn tot de funderingen van de masten. De procedure heeft zowel gevolgen voor het milieu als voor de kosten.

Werkzaamheden voor de installatie van kabels kunnen aanzienlijke gevolgen op korte termijn hebben voor het landschap door het kappen van bomen, hagen, stukken bos en andere vegetatie langs het traject. In veel gevallen is de verwijdering van de habitat intensiever voor installaties van ondergrondse kabels dan voor bovengrondse leidingen.

Wanneer grond wordt gebruikt voor landbouwdoeleinden, of in open veld- en heidehabitats, zal er waarschijnlijk geen noemenswaardige beperking op het grondgebruik zijn zodra het herstel is voltooid na de installatie van de kabels. Inheemse grond kan over het algemeen worden teruggeplaatst, waardoor de vegetatie met ondiepe wortels over het traject kan worden hersteld en de grond in veel gevallen weer volledig in zijn oorspronkelijke staat en gebruik kan worden teruggebracht.

Het is niet toegestaan om bomen te planten in de onmiddellijke nabijheid van ondergrondse kabels, omdat diepe wortelstelsels schade aan de kabels kunnen veroorzaken.

De bouw van gebouwen is niet toegestaan boven ondergrondse kabels en alle bouwwerkzaamheden in de nabijheid van deze kabels moeten zorgvuldig worden gepland en gecontroleerd.

4.3.6 Samenvatting van de hoofdkenmerken van ondergrondse kabels

Ondergrondse kabels hebben een geringer visueel effect dan bovengrondse leidingen en kunnen daarom geschikt zijn voor milieugevoelige gebieden. In sommige gevallen zijn ondergrondse kabels de enige haalbare oplossing in dergelijke gebieden, bijvoorbeeld door stedelijke gebieden; de aanleg van kabels van 380 kV vereist echter een brede corridor en kan tot een aanzienlijk en permanent effect op het landschap leiden.

De aansluiting van lange kabellengten gaat gepaard met aanzienlijke technische uitdagingen, waardoor circuits van kabels van 380 kV zelden langer zijn dan 20 km.

XLPE-circuits worden geacht betrouwbaar te werken, maar de reparatie van het XLPE-kabelsysteem is een dure en tijdrovende aangelegenheid, zodat de beschikbaarheid eronder lijdt.

4.4 Gedeeltelijk ondergrondse aanleg van een bovengrondse HVAC-leiding

De term gedeeltelijk ondergrondse aanleg verwijst naar een circuit van bovengrondse leidingen waarvan een korte sectie of secties ondergronds word(t)(en) aangelegd.

Waar de bovengrondse leiding overgaat in een kabel, wordt de bovengrondse leiding aan elk uiteinde van de ondergrondse kabelsectie afgesloten. Er is een grote compound nodig om de kabelterminals in onder te brengen, samen met andere apparatuur die nodig is om de aansluiting tussen het bovengrondse en het ondergrondse systeem te vergemakkelijken.

Een gedeeltelijk ondergrondse aanleg is technisch haalbaar en kan worden overwogen in specifieke gebieden die aanzienlijk zouden worden getroffen door de aanleg van een bovengrondse leiding.

Er zijn talrijke problemen inzake technische prestaties met systemen met lange ondergrondse kabels. In een recente internationale studie[1] waarin een specifiek geval in het Deense net werd bekeken, werd geconcludeerd dat de maximumlengte aan ondergrondse kabels in een circuit van bovengrondse leidingen niet meer dan 15% van de totale circuitlengte mag bedragen. Zoals wordt aangegeven in sectie 4.3.3, zal de maximumlengte voor een specifiek geval variëren.

4.5 Gasgeïsoleerde leiding

In sommige gevallen is een gasgeïsoleerde leiding een levensvatbaar alternatief voor bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels. De meeste toepassingen van gasgeïsoleerde leidingen gaan echter over korte afstanden en worden bovengronds geïnstalleerd in gebieden die niet voor het publiek toegankelijk zijn, zoals elektriciteitscentrales of onderstations.

Gasgeïsoleerde leidingen kunnen bovengronds worden geïnstalleerd, ondergronds worden ingraven of in sleuven of tunnels worden aangelegd.

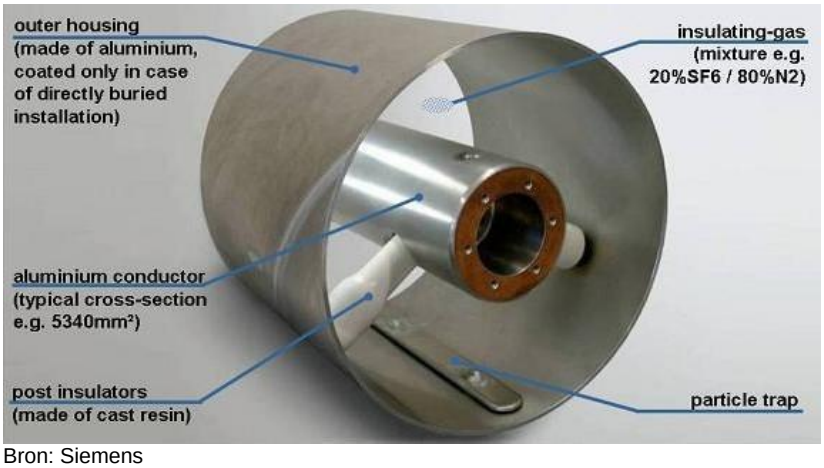
Er zijn geen projecten met gasgeïsoleerde leidingen met aanzienlijke trajectlengten in gebruik of in aanbouw, waarbij de maximale trajectlengten ongeveer 3,25 km bedragen.

De meest omvangrijke installatie van ingegraven gasgeïsoleerde leidingen is een installatie bij de luchthaven van Frankfurt in Duitsland, die twee circuits omvat met telkens een trajectlengte van 900 m.

Een geleider van een gasgeïsoleerde leiding wordt met tussenpozen ondersteund in een stijve buisvormige metalen behuizing. De behuizing is gevuld met isolerend gas, oorspronkelijk ofwel zwavelhexafluoride (SF6) of een mengsel van SF6 en stikstof. Nieuwe milieuvriendelijke isolerende gassen worden beschikbaar.

Een typische sectie van een gasgeïsoleerde leiding wordt hieronder weergegeven.

Figuur 8: Typische sectie van een gasgeïsoleerde leiding



Bron: Siemens

De gasgeïsoleerde leiding wordt ter plaatse gemonteerd en gelast tot een ononderbroken lengte.

Bochten met een straal van ongeveer 400 m of meer kunnen worden verkregen door rechte secties elastisch te buigen. Voor kleinere stralen zijn geprefabriceerde bochten nodig. Dergelijke geprefabriceerde bochten kunnen ook nodig zijn om veranderingen in het verticale profiel van het traject op te vangen.

[1] Technical Issues Related to New Transmission Lines in Denmark, Energinet, Doc. 18/04246-24

Voor installatie in de openlucht en in tunnels kunnen de behuizingen balgsecties nodig hebben om thermische uitzetting mogelijk te maken. Expansiebalgen kunnen ook nodig zijn voor direct ingegraven gasgeïsoleerde leidingen. Ze zouden worden geïnstalleerd in expansiekamers op een bepaalde afstand van elkaar langs het traject en kunnen om de 200-300 m nodig zijn.

Naast de hierboven geschetste 'normale' krachten moeten direct ingegraven gasgeïsoleerde leidingen bestand zijn tegen spanningen ten gevolge van thermische uitzetting, bodemdruk, oppervlaktetransportbelasting en grondwaterdruk.

De behuizingen kunnen tegen corrosie worden beschermd door het gebruik van een polyethyleencoating en door kathodische bescherming. De coating wordt tijdens de fabricage aangebracht, maar wanneer er ter plaatse wordt gelast, moet voor extra bescherming worden gezorgd. De bescherming is gebaseerd op ervaring met ingegraven olie- en gaspijpleidingen.

Figuur 9: Voorbeeld van een direct ingegraven gasgeïsoleerde leiding vóór opvulling - luchthaven van Frankfurt

Er is een gasterugwinningsinstallatie nodig voor de verwijdering en opslag van gas voor onderhoud en reparaties, om lozing van SF6 in de atmosfeer te voorkomen. Hoewel er voordelige technieken beschikbaar zijn voor de opslag en het directe hergebruik van zuiver SF6, zijn er praktische moeilijkheden bij de behandeling van mengsels van SF6 en stikstof.

Lange lengten gasgeïsoleerde leidingen zijn voorzien van gasbarrières op een bepaalde afstand van elkaar, om de installatie in secties te verdelen. Zo kan de gasdruk van afzonderlijke secties worden gecontroleerd en afgelaten, mocht een reparatie nodig zijn. Ook het potentiële gasverlies in geval van een lek wordt erdoor verminderd. De lengten van de gassecties variëren, maar bedragen ongeveer 200 m. Elke sectie moet een toegang hebben om het gas toe te voegen en te controleren.

In sectie 4.3.3 wordt de impact van de elektrische capaciteit van circuits van ondergrondse kabels besproken. Gasgeïsoleerde leidingen zijn ook onderhevig aan dit effect, maar in veel mindere mate dan kabels.

4.5.1 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid van gasgeïsoleerde leidingen

De fabrikanten hebben verklaard dat gasgeïsoleerde leidingen levenslang zijn afgedicht. Er is geen preventief onderhoud nodig dat interne toegang tot de behuizingen zou vereisen.

Een defect in de isolatie zou moeten worden gerepareerd door ten minste één in de fabriek vervaardigde sectie van de gasgeïsoleerde leiding te vervangen. Hiervoor zou het gas moeten worden afgevoerd, de sectie moeten worden verwijderd en de vervangingssectie op haar plaats moeten worden gelast/vastgebout. Voor de vervanging zouden een geschoold installatieteam en gespecialiseerde apparatuur nodig zijn.

Er zijn technieken voor storingslokalisatie beschikbaar, maar die zijn nog niet gedemonstreerd op lange circuitlengten. Conventionele kabelstoringslokalisatie is mogelijk niet doeltreffend wegens de uitstekende isolerende eigenschappen van SF6, dat zelfs na een aanzienlijke storing betrekkelijk lage spanningstests kan doorstaan.

4.5.2 Milieuoverwegingen in verband met gasgeïsoleerde leidingen

Bij de meeste installaties van gasgeïsoleerde leidingen wordt zuiver SF6-gas gebruikt als isolatiemiddel.

SF6 is een broeikasgas met een hoog aardopwarmingsvermogen dat naar verluidt 24.000 keer groter is dan kooldioxide. Het gebruik van SF6-gas wordt geregeld door de Europese wetgeving en elektrische toepassingen zijn weliswaar toegestaan, maar zijn onderworpen aan strikte vrijwillige overeenkomsten met betrekking tot de uitstoot.

Bij alternatieven voor ontwerpen met zuiver SF6 wordt een mengsel van stikstof (80%) en SF6 (20%) als het isolerende gas gebruikt. Dit verkleint de milieu-impact in geval van lekkend gas.

De recente invoering van ‘groene’ isolerende gassen zal de milieuprestaties aanzienlijk verbeteren.

4.5.3 Conclusie in verband met gasgeïsoleerde leidingen

Ervaring met gasgeïsoleerde leidingen over lange afstanden is niet beschikbaar. Een trajectlengte van 100 km kan als zodanig gepaard gaan met tot nu toe onbekende technische en bouwtechnische uitdagingen. De technologie wordt daarom niet geschikt geacht voor deze stroomcorridor.

4.6 Supergeleidende kabel

De weerstand tegen de elektriciteitsstroom in een geleider neemt toe met de temperatuur. Als een geleider afkoelt, daalt de weerstand. Als een koperen geleider afkoelt tot bijna het absolute nulpunt (- 273 ºC), daalt de weerstand van de geleider tot bijna nul. Als de weerstand bijna nul bereikt in een supergeleidend materiaal, betekent dit dat de stroom kan stromen zonder warmte op te wekken, en zonder elektrische weerstandsverliezen door de geleider kan gaan.

Om een stroomtransmissiesysteem op een dergelijk lage temperatuur te houden, zijn speciale cryogene installaties nodig die moeilijk te bedienen en te onderhouden zijn.

De ontdekking van legeringen met supergeleidende eigenschappen op of boven de temperatuur van vloeibare stikstof heeft het mogelijk gemaakt om enkele proefprojecten met een korte lengte op te zetten, die een transmissie van betrekkelijk hoge stroom aantonen.

De supergeleidingstechnologie is echter nog in ontwikkeling en hoewel er een aantal kleinschalige proeven in distributienetten aan de gang zijn, is ze ver verwijderd van toepassing in een operationeel transmissienet. Daarom wordt in het rapport niet verder ingegaan op de technologie.

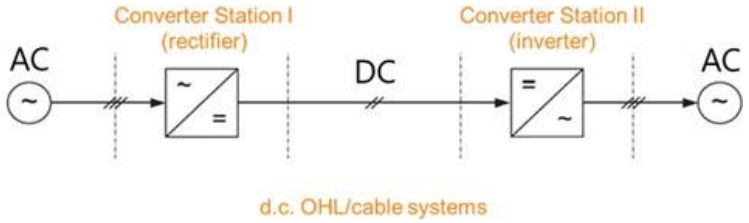
5 HVDC als alternatief voor HVAC

Het bestaande net in België is een hoogspanningswisselstroomsysteem (HVAC-systeem, waarbij HVAC voor 'High Voltage Alternating Current' staat). Elk nieuw transmissieproject waarbij HVAC wordt gebruikt, zou dus een uitbreiding van de bestaande technologie zijn.

Hoogspanningsgelijkstroom ('High Voltage Direct Current', HVDC) is een alternatieve methode om elektriciteit over te brengen.

Om een HVDC-circuit tussen twee willekeurige punten in een HVAC-net toe te voegen, moet de wisselstroom aan het ene uiteinde van de verbinding in gelijkstroom worden omgezet, als gelijkstroom door de verbinding worden geleid en vervolgens aan het andere uiteinde weer in wisselstroom worden omgezet. Dit is in de meeste gevallen een inefficiënte en dure methode.

Figuur 10: Omzetting van wisselstroom in gelijkstroom en gelijkstroom in wisselstroom



HVDC biedt technische voordelen ten opzichte van HVAC in de volgende gevallen:

1. Transmissie tussen stroomsystemen die niet zijn gesynchroniseerd
2. Transmissie van hoge stroom over zeer lange afstanden
3. Om het gebruik van lange onderzeese kabels mogelijk te maken, of de ondergrondse aanleg van een onshore transmissiecircuit te vergemakkelijken
4. Wanneer een volledige en variabele regeling van de energiestroom is vereist, d.w.z. voor de interconnectie tussen netten

In sommige omstandigheden is HVDC de enige technisch haalbare oplossing. Dit is het geval wanneer elektrische stroom wordt overgebracht tussen netten die niet zijn gesynchroniseerd, en dat ook niet kunnen zijn.

HVDC is mogelijk de meest kosteneffectieve oplossing voor stroomtransmissie over zeer lange afstanden. Er zijn veel HVDC-verbindingen met een hoog vermogen over een lange afstand, bijvoorbeeld in China, India, Canada, de VS en Brazilië, waarbij stroom tot wel 2500 km ver wordt vervoerd.

Zoals in sectie 4.3.3 van dit rapport wordt besproken, hebben circuits van lange ondergrondse HVAC-kabels te lijden onder problemen inzake technische prestaties. In sommige situaties zijn ingegraven of onderwaterkabels de enige manier om stroom te vervoeren, maar er moet rekening worden gehouden met een praktische maximumafstand wanneer HVAC wordt gebruikt. HVDC kan worden gebruikt om de ondergrondse aanleg van lange circuits te vergemakkelijken.

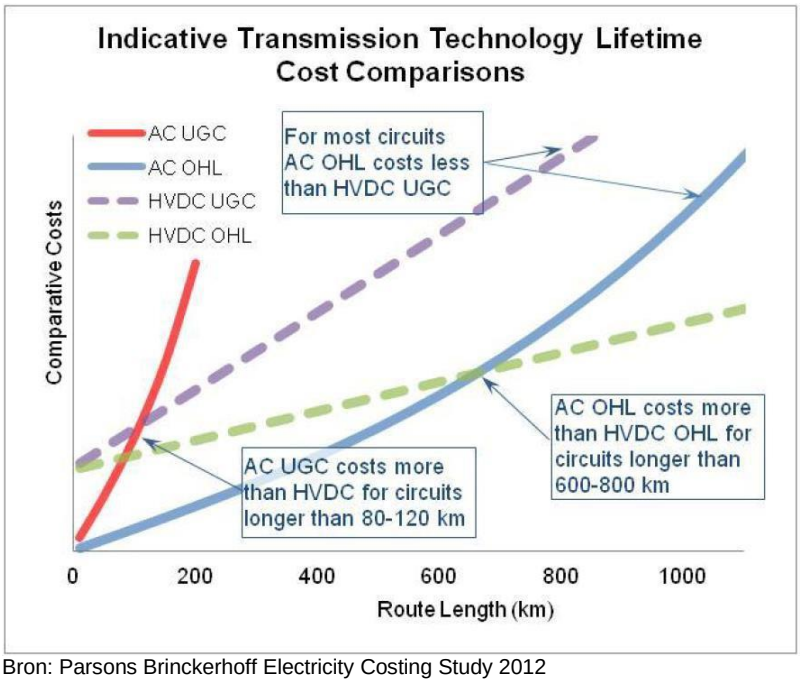
HVDC begint met een kostennadeel ten opzichte van elke HVAC-optie vanwege de betrekkelijk hoge kosten van de convertorstations die nodig zijn aan elk uiteinde van elke HVDC-verbinding. De voordelen die de HVDC-technologie biedt, moeten opwegen tegen de kosten en de vermogensverliezen van de convertorstations.

In figuur 11 worden de kosten van bovengrondse HVAC- en HVDC-leidingen en ondergrondse HVAC- en HVDC-kabels met de lengte van het traject vergeleken.

Uit de grafiek blijkt dat bovengrondse HVAC-leidingen vaak de goedkoopste optie zijn tot de lengte van het traject meer dan ongeveer 600-700 km bedraagt. Boven deze lengte kunnen bovengrondse HVDC-leidingen een meer kostenefficiënte oplossing zijn.

Ondergrondse HVDC-kabels worden vaak kostenefficiënter dan ondergrondse HVAC-kabels bij circuits van ongeveer 80-120 km of langer.

Figuur 11: Transmissieopties - kosten tegenover trajectlengte



Bron: Parsons Brinckerhoff Electricity Costing Study 2012

De stroom in een net moet zo zijn uitgebalanceerd dat de opgewekte stroom wordt aangepast om in overeenstemming te zijn met de verbruikte stroom. In een gekoppeld of vermaasd wisselstroomsysteem vindt de stroom zijn weg van de opwekking naar de verbruiker langs het meest geschikte traject. De systeembeheerder moet ervoor zorgen dat de trajecten de stroom kunnen vervoeren zonder overbelast te raken.

HVDC-interconnectoren vereisen een nauwkeurige regeling, zodat er geen gevaar voor overbelasting bestaat. De vereisten voor veranderingen in de energiestroom moeten worden vastgesteld en in de regelsystemen worden geprogrammeerd. Dit vereist toezicht op het net, soms op afstand van de convertorstations.

5.1 HVDC-technologiebeoordeling

5.1.1 Convertorconfiguraties

Over het algemeen kan de convertor die voor HVDC-transmissie wordt gebruikt, worden ingedeeld als stroombron of spanningsbron.

5.1.1.1 Stroombronconvertoren

Het meest gebruikte type stroombronconvertor is de netgestuurde convertor, die is gebaseerd op thyristors.

Stroombronconvertoren zijn alleen geschikt voor gebruik tussen netten die betrekkelijk sterk zijn in vergelijking met het nominale vermogen van de HVDC-verbinding ertussen.

Moderne netgestuurde convertoren en bovengrondse leidingen kunnen werken bij een maximum van 800 kV gelijkstroom en 8 GW vermogen.

De technologie van netgestuurde convertoren is matuur en wordt gewoonlijk gebruikt voor de overbrenging van zeer hoge stroom over zeer lange afstanden te land, wat in Europa normaal gezien niet nodig is. Binnen Europa wordt de technologie van oudsher gebruikt voor onderzeese interconnectoren, hoewel spanningsbronconvertoren nu algemeen worden toegepast voor nieuwe projecten.

Om deze redenen wordt de technologie van de netgestuurde convertoren voor de voorgestelde stroomcorridor in dit rapport niet in overweging genomen.

5.1.1.2 Spanningsbronconvertoren

Een spanningsbronconvertor is gebaseerd op transistors en biedt een aanzienlijk voordeel ten opzichte van netgestuurde convertoren. Spanningsbronconvertoren kunnen in zwakke systemen werken en stroom leveren aan voorheen spanningsloze systemen (bekend als ‘black start’). Hun maximumcapaciteit is lager dan die van netgestuurde convertoren, met als hoogste spanning in gebruik 320 kV gelijkstroom (hoewel er systemen van 525 kV gelijkstroom worden gebouwd). Typische spanningsbronconvertorsystemen zijn goed voor ongeveer 1-1,4 GW per circuit. Voor spanningsbronconvertoren betekent een capaciteit van meer dan 1,4 GW een hoger risico.

Spanningsbronconvertoren zorgen voor een soepele regeling van de overgebrachte stroom en van de spanningen op het aansluitpunt.

De meest recente voorschriften voor nieuwe HVDC-systemen in Europa eisen een soepele spanningsregeling. Bijgevolg zullen alle nieuwe HVDC-interconnectoren in Europa naar verwachting van het type spanningsbronconvertor zijn. Alleen de HVDC-spanningsbronconvertortechnologie zal in het rapport in aanmerking worden genomen.

5.1.2 Systeemconfiguraties

HVDC-systemen kunnen op drie manieren worden geconfigureerd:

- Punt-tot-puntconfiguratie
- Rug-aan-rugconfiguratie
- Configuratie met meerdere terminals

5.1.2.1 Punt-tot-puntconfiguratie

De meeste HVDC-systemen hebben een punt-tot-puntconfiguratie. Stroom wordt overgebracht tussen twee punten in een HVAC-net. Bijna alle geïnstalleerde HVDC-interconnectoren hebben slechts twee terminals.

5.1.2.2 Rug-aan-rugconfiguratie

Bij HVDC met een rug-aan-rugconfiguratie bevinden twee convertoren zich op dezelfde plaats in één gebouw en is er geen bovengrondse gelijkstroomleiding of ondergrondse gelijkstroomkabel. Rug-aan-rugsystemen worden over het algemeen gebruikt voor de aansluiting van HVAC-systemen die met verschillende frequenties werken, of voor de aansluiting van niet-gesynchroniseerde systemen. Deze configuratie is niet geschikt voor de voorgestelde stroomcorridor en wordt verder buiten beschouwing gelaten in het rapport.

5.1.2.3 Configuratie met meerdere terminals

HVDC met een configuratie met meerdere terminals heeft meer dan twee terminals. In de praktijk is er nog nooit een systeem met meer dan drie terminals op afzonderlijke plaatsen in gebruik geweest.

Er is een klein aantal systemen met netgestuurde convertoren met drie terminals en er worden enkele systemen met spanningsbronconvertoren met meerdere terminals in overweging genomen. Een systeem met spanningsbronconvertoren met meerdere terminals zou minder beperkingen hebben in het gebruik dan een systeem met netgestuurde spanningsbronconvertoren met meerdere terminals, maar voor elke terminal is nog altijd een convertorstation nodig, wat de kosten verhoogt.

5.2 Betrouwbaarheid en beschikbaarheid

HVDC-transmissiesystemen vereisen meer onderdelen dan conventionele wisselstroomcircuits, waaronder de volgende:

- Vermogenselektronische convertoren
- Complexe regel- en beveiligingssystemen
- Convertortransformatoren
- Koelsystemen
- Harmonische filters (kunnen ook nodig zijn voor lange wisselstroomkabelcircuits)
- Reactoren (kunnen ook nodig zijn voor lange wisselstroomkabelcircuits)
- Wisselstroomvermogensschakelaars (kunnen ook nodig zijn voor lange wisselstroomkabelcircuits)
- Bovengrondse gelijkstroomleidingen of ondergrondse gelijkstroomkabels (soortgelijke behoefte voor wisselstroomcircuits)

De grotere hoeveelheid onderdelen leidt tot een complexer systeem in vergelijking met een equivalent HVAC-transmissiesysteem, waardoor de kans op gedwongen onbeschikbaarheid van de stroom door apparatuurstoringen toeneemt. Alle systemen hebben van tijd tot tijd onderhoud nodig. Hoewel sommige onderdelen door middel van duplicatie kunnen worden onderhouden zonder dat een onderbreking nodig is, bijvoorbeeld in koelsystemen, is over het algemeen een onderbreking nodig van enkele dagen per jaar of om de twee jaar.

Er wordt redundantie ingebouwd in HVDC-convertorsystemen, bijvoorbeeld door regelsystemen te dupliceren, meer transistors in de convertoren te installeren dan nodig zijn voor een volledige werking, en pompen van het koelsysteem te dupliceren. Bij storingen kunnen deze systemen ‘online’ worden gerepareerd, maar de vervanging van bijvoorbeeld defecte transistors vereist een onderbreking op een geschikt moment. Sommige storingen, zoals transformator- en kabelstoringen, leiden onvermijdelijk tot de uitschakeling van de interconnector.

5.3 Technische problemen in verband met HVDC

5.3.1 Vergemakkelijking van toekomstige netaansluitingen

Elke toekomstige aansluiting op een HVDC-verbinding vereist een eigen convertorstation en ingrijpende wijzigingen aan de bestaande convertorstations aan de verre uiteinden van de aansluiting. Dit zal waarschijnlijk duur zijn en het toch al complexe systeem nog complexer maken.

5.3.2 Stroomomkering

Het voorgestelde HVDC-systeem moet onder normale omstandigheden in beide richtingen stroom kunnen overdragen, en onder verschillende storingsscenario's automatisch de richting van de stroomoverdracht kunnen omkeren. Spanningsbronconvertor-HVDC verandert de stroom soepel van volle stroom in de ene richting naar volle stroom in de andere, en waarschijnlijk met de snelheid die nodig is om het wisselstroomnet stabiel te houden.

De integratie van een HVDC-circuit in een vermaasd HVAC-transmissienet en de eis dat het correct reageert op noodsituaties binnen het wisselstroomsysteem, vereist complexe regel- en communicatiesystemen. Een snelle identificatie en communicatie van de omstandigheden aan het HVDC-regelsysteem kan een uitdaging zijn en het risico van storingen inhouden.

Er zijn gedetailleerde studies nodig om de regeleisen vast te stellen. De bronnen van de signalen die de omstandigheden aangeven, en de methoden om de informatie bij het regelsysteem te krijgen, moeten worden geïdentificeerd.

5.4 Belangrijkste technologierisico's

De stroomcorridor moet een zeer hoge beschikbaarheid bieden. Om een gedeeltelijke capaciteit tijdens gepland onderhoud en herstel na een storing te handhaven, zouden er ten minste twee onafhankelijke verbindingen moeten worden geïnstalleerd. Indien twee circuits worden voorzien, zou elk circuit een nominaal vermogen van 3 GW moeten hebben, wat meer is dan om het even welk systeem met spanningsbronconvertoren dat tot nu toe is toegepast. Het is dan ook waarschijnlijk dat er verschillende verbindingen nodig zullen zijn om de vereiste stroomcorridorcapaciteit te bereiken, zelfs als er rekening wordt gehouden met de voortdurende ontwikkeling van hogere nominale convertorvermogens. Een optie zou zijn om drie interconnectoren met een nominaal vermogen van telkens 2 GW of vier met een nominaal vermogen van 1,5 GW te gebruiken. Hierdoor zou een capaciteit van meer dan 3 GW kunnen worden gehandhaafd met één verbinding buiten dienst voor reparatie of onderhoud.

5.5 Conclusie in verband met HVDC als alternatief voor HVAC

HVDC kan de ondergrondse aanleg vergemakkelijken van lange circuits waarbij de maximumlengte aan ondergrondse wisselstroomkabels beperkt is. Het is technisch haalbaar om HVDC-technologie te gebruiken voor de ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030.

De extra kosten van HVDC zouden aanzienlijk zijn en de HVDC-technologie zou niet de operationele flexibiliteit en veerkracht bieden van een HVAC-oplossing.

Een HVDC-oplossing gaat gepaard met verschillende technische risico's en nadelen in vergelijking met een HVAC-equivalent.

Nieuwe aansluitingen kunnen gemakkelijker tot stand gebracht worden via een wisselstroomcircuit. Toekomstige aansluitingen op een HVDC-verbinding zijn mogelijk, maar voor elke nieuwe aansluiting langs het traject zou een convertorstation nodig zijn, met hoge kapitaalkosten als gevolg.

Regelsystemen voor HVDC met meerdere terminals zijn complex en gaan gepaard met technische risico's van lage betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een HVDC-verbinding met meerdere terminals.

Er is een aanzienlijke grondoppervlakte nodig voor convertorstations aan elk aansluitpunt.

Het duurt minstens vier jaar om een typisch HVDC-systeem in gebruik te nemen. Aangezien er meer dan één interconnector nodig is, zou het in dit geval waarschijnlijk nog een of meer jaren langer duren voordat het volledige systeem operationeel is.

6 Benchmarkingstudie naar soortgelijke projecten in Europa

6.1 Onderzoeksmethode

De volgende bronnen zijn gebruikt om Europese referentieprojecten voor deze benchmarking te identificeren:

- De website van ENTSO-e, met onder meer de TYNDP-documenten (TYNDP = 'Ten Year Network Development Plan') uit 2014 en 2016, die een lijst van transmissiesysteemprojecten bevatten. We hebben de lijsten van projecten gefilterd en de projecten geselecteerd waarvan we verwachten dat ze geschikt zullen zijn voor benchmarking ten opzichte van het project Toekomstig Elia-net 2030.
- Algemene kennis van de sector
- Openbaar beschikbare sectorrapporten

Het doel was een reeks projecten te identificeren die elk van de voor het rapport relevante technologieopties bestrijken.

6.2 Samenvatting van de geselecteerde projecten

De volgende projecten zijn geselecteerd:

Tabel 2: Bovengrondse HVAC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Beauly Denny	Goedkoopste technisch aanvaardbare oplossing
Brabo I, II en III	Goedkoopste technisch aanvaardbare oplossing
North South Interconnector	Goedkoopste technisch aanvaardbare oplossing
Richborough - Canterbury	Goedkoopste technisch aanvaardbare oplossing

Tabel 3: Ondergrondse / onderzeese HVAC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Luchthaven van Frankfurt (gasgeïsoleerde leiding)	Ondergronds aangelegd vanwege de nabijheid van een landingsbaan van de luchthaven. Er is gekozen voor gasgeïsoleerde technologie, omdat de installatiecorridor smal moest zijn.
Hornsea	Onderzeese kabel. Er is gekozen voor wisselstroom vanwege de relatief lagere kosten in vergelijking met HVDC.
London Power Tunnels	Kabel in diepe tunnel wegens stedelijke omgeving met druk verkeer
Shinkeiyo - Toyosu	Kabel in diepe tunnel wegens stedelijke omgeving met druk verkeer
St John's Wood	Kabel in diepe tunnel wegens stedelijke omgeving met druk verkeer

Tabel 4: Gedeeltelijk ondergronds aangelegde / onderzeese HVAC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Hinkley Point C	De doorkruising van beschermd gebied leidde tot gedeeltelijk ondergrondse aanleg
Kasso - Tjele	De doorkruising van beschermd gebied leidde tot gedeeltelijk ondergrondse aanleg
Randstad	De oversteek van obstructies en/of doorkruising van beschermde / stedelijke gebieden leidde tot gedeeltelijk ondergrondse aanleg
Sorgente - Rizziconi	De noodzaak om de zee over te steken, leidde tot een onderzeese kabelsectie

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Stevin	De oversteek van obstructies en/of doorkruising van beschermde / stedelijke gebieden leidde tot gedeeltelijk ondergrondse aanleg

Tabel 5: Bovengrondse HVDC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Suedlink	Transmissie van hoog vermogen over zeer lange afstanden
Ultranet	Transmissie van hoog vermogen over zeer lange afstanden

Tabel 6: Onderzeese / ondergronds aangelegde HVDC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
Alegro	Er is gekozen voor HVDC om de ondergrondse aanleg te vergemakkelijken, en om een volledige en variabele regeling van de energiestroom mogelijk te maken
Baixas - Santa Llogaia	Er is gekozen voor HVDC om de ondergrondse aanleg te vergemakkelijken, en om een volledige en variabele regeling van de energiestroom mogelijk te maken
BritNed	Er is gekozen voor HVDC om een lange onderzeese kabel mogelijk te maken
Greenconnector	Er is gekozen voor HVDC om de onderzeese en ondergrondse aanleg te vergemakkelijken, en om een volledige en variabele regeling van de energiestroom mogelijk te maken
Sapei	Er is gekozen voor HVDC om een lange onderzeese kabel mogelijk te maken
SuedOst Link	Er is gekozen voor HVDC om de ondergrondse aanleg te vergemakkelijken, en om een volledige en variabele regeling van de energiestroom mogelijk te maken

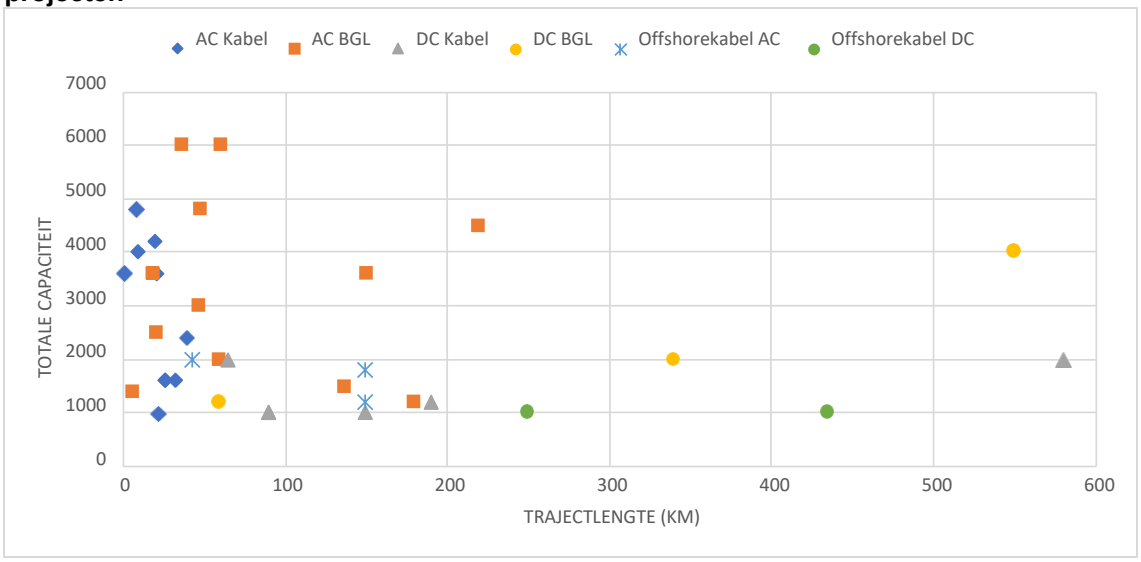
Tabel 7: Gemengde bovengrondse en ondergrondse HVDC-projecten

Project	Factor die de technologiekeuze heeft bepaald
SouthWest Link	Er is gekozen voor HVDC om de ondergrondse aanleg te vergemakkelijken, en om een volledige en variabele regeling van de energiestroom mogelijk te maken

6.3 Fiches

Zie bijlage A voor een informatieblad met een projectsamenvatting of een fiche voor elk geselecteerd project. In figuur 12 wordt het type technologie afgezet tegen de capaciteit van de stroomcorridor en de lengte van het traject voor geselecteerde projecten.

Figuur 12: Capaciteit van de stroomcorridor en lengte van het traject voor geselecteerde projecten



7 Wereldwijde trends

Bovengrondse wisselstroomleidingen vormen het overgrote deel van de circuitlengte in transmissiesystemen over de hele wereld. Het is niet waarschijnlijk dat deze situatie in de nabije toekomst zal veranderen, aangezien er veel nieuwe projecten met bovengrondse leidingen gepland of in aanbouw zijn. Hoewel er veel voorstellen zijn gedaan om het uiterlijk van de ‘klassieke’ stalen vakwerkmast te verbeteren, blijven de conventionele ontwerpen kosteneffectief en overheersen ze nog altijd in de nieuwbouw.

Het gebruik van wisselstroomkabels is over het algemeen beperkt tot de volgende gevallen:

- Waar de installatie van bovengrondse leidingen technisch niet haalbaar is wegens geografische kenmerken; hoofdzakelijk oversteken van rivieren of riviermonden van meer dan 1 km
- Waar het gebruik van bovengrondse leidingen niet praktisch is wegens de dichtheid van de stedelijke ontwikkeling
- Waar een bovengrondse leiding een aanzienlijk effect zou hebben op een waardevolle omgeving

Kabels voor spanningstransmissie werden meer dan 50 jaar geleden ontwikkeld om aan dergelijke situaties tegemoet te komen, maar het was duur om de gebruikte isolatie met papier/olie te installeren en te onderhouden, en de toepassingen waren dus zeer beperkt. Meer recent heeft de invoering van isolatie van verknoopt polyethyleen (XLPE) voor transmissiekabels de kosten doen dalen (hoewel ze nog steeds vele malen hoger zijn dan de kosten van een equivalente bovengrondse leiding) en is het gebruik van wisselstroomkabels in transmissiesystemen toegenomen.

De trend om meer kabels te installeren, is aangemoedigd door het toegenomen stroomverbruik in moderne stedelijke centra dat de capaciteit van bestaande distributienetten te boven gaat en de aanleg van nieuwe transmissie-infrastructuur noodzakelijk maakt.

Wat betreft de distributienetspanning (over het algemeen 110 kV en lager), is er een toenemende trend om bovengrondse leidingen door kabels te vervangen. Dit heeft zich over het algemeen niet uitgebreid tot transmissienetspanningen vanwege de kosten en de uitvoerbaarheid.

Er zijn beperkingen op de maximumlengte van kabels voor spanningstransmissie die aan een net kunnen worden toegevoegd, zoals wordt besproken in sectie 4.3.3 van het rapport.

Gasgeïsoleerde leidingen zijn al meer dan 40 jaar in de handel verkrijgbaar en worden veel gebruikt voor betrekkelijk korte aansluitingen (minder dan 500 m) binnen krachtinstallaties van nutsbedrijven. Het gebruik voor langere toepassingen en voor ingegraven toepassingen in openbaar toegankelijke gebieden is zeer beperkt gebleven, met slechts één noemenswaardig project dat een circuitlengte van 2 x 0,9 km voorziet.

De laatste jaren zijn door een aantal fabrikanten verschillende proefinstallaties van supergeleidende kabels opgezet, maar geen daarvan werkt op transmissiespanning of biedt de overdrachtscapaciteit die voor transmissietoepassingen nodig is. De commercialisering van de technologie wordt niet verwacht in de nabije toekomst.

Sinds de invoering, bijna 40 jaar geleden, van thyristors met een hoge stroomschakelcapaciteit wordt HVDC gebruikt voor de transmissie over land van hoog vermogen over zeer lange afstanden. De vermindering van transmissieverliezen heeft de toepassing van hoge transmissiespanningen bevorderd, die vaak hoger liggen dan de capaciteit van de kabeltechnologie, zodat voor deze verbindingen met hoog vermogen bovengrondse leidingen worden gebruikt. Recente ontwikkelingen in China en India hebben geleid tot de invoering van ‘zeer hoge spanning'-transmissie van 800 kV gelijkstroom, met capaciteiten van meer dan 6 GW op één leiding en met circuitlengten van 1000-2500 km.

De ‘klassieke’ netgestuurde HVDC-technologie op basis van thyristorschakelaars wordt ook op grote schaal gebruikt voor onderzeese interconnectoren. In deze toepassingen wordt de bedrijfsspanning verlaagd (om aan te sluiten bij de capaciteit van de kabeltechnologie) en worden ook de nominale stroomsterkten verlaagd. De overdrachtscapaciteit van deze projecten bedraagt niet meer dan 1 GW per circuit en vele zijn ontworpen voor een lager energieniveau dan dit.

Meer recent heeft de invoering van transistors met hoog vermogen de ontwikkeling van de technologie van de spanningsbronconvertoren vergemakkelijkt. Deze wordt vaak gecombineerd met geëxtrudeerde XLPE-kabels (die niet geschikt zijn voor gebruik met netgestuurde convertoren). De technologie van de spanningsbronconvertoren werd oorspronkelijk gelanceerd als een zuiniger alternatief voor netgestuurde convertoren voor energieniveaus van minder dan 0,1 GW, maar de inherente voordelen van spanningsbronconvertoren leidden ertoe dat de technologie snel werd opgeschaald tot een capaciteit van ongeveer 1 GW; beperkt door de spanningscapaciteit van de geëxtrudeerde kabel en de stroomcapaciteit van de transistors. De ontwerpen van 1 GW zijn zowel in Europa als daarbuiten op vrij grote schaal toegepast, waarbij interconnectorcircuits tussen transmissienetten, aansluitingen op offshore eilanden en aansluitingen op offshore windmolenparken de belangrijkste toepassingen vormen.

Recente technische ontwikkelingen hebben geleid tot de ontwikkeling van geëxtrudeerde kabels die kunnen werken bij een maximum van 525 kV, samen met transistors die een hogere stroomschakelcapaciteit bieden. Verwacht wordt dat deze vooruitgang in de toekomst een verhoging van de nominale vermogens van de spanningsbronconvertoren tot ongeveer 2 GW per circuit mogelijk zal maken. Hoewel er projecten gepland zijn waarbij gebruik wordt gemaakt van deze transmissiecapaciteit, zijn er momenteel geen in gebruik of in aanbouw.

8 Woordenlijst van technische termen en acroniemen

Tabel 8: technische termen en afkortingen

Term	Afkorting	Omschrijving
Wisselstroom	AC	Een type elektrische stroom waarbij de elektrische lading met regelmatige tussenpozen van richting verandert
Beschikbaarheid		De tijd dat het circuit beschikbaar is voor het doel waarvoor het is ontworpen, d.w.z. om zijn nominale stroom over te brengen. Dit wordt beïnvloed door geplande onderhoudsactiviteiten en ongeplande storingen.
Capaciteit		De hoeveelheid elektriciteit die veilig en betrouwbaar op het net of een circuit kan worden overgebracht
Circuit		De bovengrondse leiding of ondergrondse kabel die twee onderstations met elkaar verbindt
Geleider		Het gedeelte van de bovengrondse leiding of ondergrondse kabel dat de elektrische stroom vervoert
Convertorstation		Een station dat gelijkstroom omzet in wisselstroom of omgekeerd
Corridor		De strook grond met een bepaalde breedte waar de elektriciteitsleiding of -kabel zal worden aangelegd
Stroomsterkte		De stroming van elektrische lading in een circuit, analoog aan de stroming van water in een watersysteem. Gemeten in een eenheid die ampère wordt genoemd.
Vraag		De hoeveelheid elektrische stroom die verbruikers van het net afnemen
Gelijkstroom	DC	Een type stroom waarbij de richting van de elektrische lading constant is.
Distributienet		Een net met een lagere spanning dat stroom levert aan gezinnen en bedrijven. Het equivalent van een regionaal net van secundaire wegen in het wegennet van een land
Elektrisch en magnetisch veld		Onzichtbare energiegebieden die vanzelf ontstaan. Wanneer elektriciteit stroomt, worden zowel elektrische als magnetische velden opgewekt.
Elektrische verliezen		Zie verliezen
Storingen		Een defect aan apparatuur waardoor een circuit moet worden uitgeschakeld en daardoor niet meer beschikbaar is voor gebruik
Generator		Een apparaat dat energie opwekt in de vorm van elektriciteit
Net		Een net of "energiesnelweg" die uit bovengrondse hoogspanningsleidingen, ondergrondse hoogspanningskabels en hoogspanningsonderstations bestaat. Het net verbindt energiegebruikers met energieproducenten. Het is zo ontworpen dat de stroom vrij kan stromen naar de plaats waar hij nodig is.
Gigawatt	GW	Een eenheid van vermogen (zie vermogen). 1 GW is gelijk aan 1000 MW.
Harmonische vervorming		Een verschijnsel dat de kwaliteit van de stroomvoorziening aan klanten beïnvloedt.
Isolator		Een onderdeel dat in elektrische apparatuur wordt gebruikt om elektrische geleiders te ondersteunen en te scheiden.
Interconnector		Een groot circuit dat twee landen met elkaar verbindt
kV	kV	Een eenheid van spanning (zie spanning). 1 kV is gelijk aan 1000 V.
MW	MW	Een eenheid van vermogen (zie vermogen). 1 MW is gelijk aan 1000 W.
Fase		Een wisselstroomtransmissiesysteem kan enkelfasig of driefasig zijn. Alle wisselstroomsystemen die in dit rapport worden beschreven, zijn driefasig en er zijn bijgevolg drie afzonderlijke geleiders of drie afzonderlijke groepen geleiders nodig om een volledig circuit te vormen.
Elektriciteitscentrale		Een faciliteit die uit generatoren bestaat die energie opwekken in de vorm van elektriciteit
Stroomsysteem		Het algemene systeem dat elektriciteit produceert, overbrengt en distribueert zodra het nodig is
Reactieve stroom		Energie die wordt vastgehouden en opgeslagen in de elektrische kabelcapaciteit

Term	Afkorting	Omschrijving
Reactieve stroomcompensatie		Speciale apparatuur om de in de elektrische kabelcapaciteit vastgehouden en opgeslagen energie te neutraliseren, en de daarmee gepaard gaande effecten te compenseren
Redundantie		De opname van extra capaciteit in geval van een storing van andere circuits
Betrouwbaarheid		Het vermogen van het circuit om constant goed te presteren
Opwekking van hernieuwbare energie		De opwekking van elektriciteit met behulp van hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie
Onderstation		Een stel elektrische apparaten die worden gebruikt om de energiestromen te regelen, en de spanningen tussen het transmissie- en het distributienet te wijzigen
Transmissienet		Een fysiek net dat opwekkers van elektriciteit met het distributienet verbindt. Het transmissienet is het equivalent van het net van nationale autosnelwegen in het wegennet van een land
Spanning	V	Een maat voor de elektrische potentiaal, analoog aan de druk in een watersysteem. Gemeten in een eenheid die volt wordt genoemd.
Watt	W	Dit is een maat voor het elektrische vermogen. Gemeten in een eenheid die watt wordt genoemd. Een elektrische waterkoker verbruikt ongeveer 2 kW

Bijlagen

A. Projectfiches 32

A. Projectfiches

In tabel 9 worden de symbolen op fichelandkaarten beschreven.

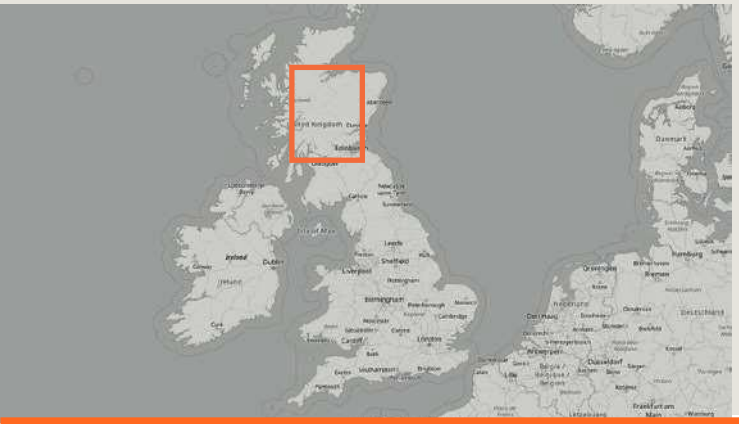
Tabel 9: sleutel tot landkaartsymbolen

Symbool	Omschrijving
	Aansluitpunt (onderstation of convertorstation)
	Bovengrondse wisselstroomleiding
	Ondergrondse wisselstroomkabel
	Onderzeese wisselstroomkabel
	Wisselstroomkabeltunnel
	Bovengrondse gelijkstroomleiding
	Ondergrondse gelijkstroomkabel
	Onderzeese gelijkstroomkabel

In tabel 10 worden alle fichecriteria omschreven.

Tabel 10: omschrijving van de fichecriteria

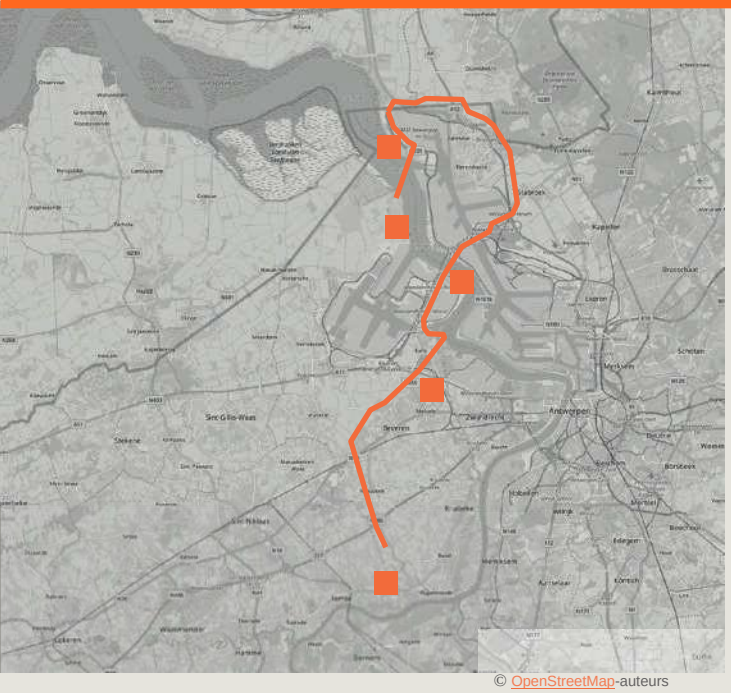
Criteria	Omschrijving
Locatie	-
Eigenaar / beheerder	-
Projectstatus	Planning / Goedgekeurd / In aanbouw / In gebruik
Datum van de werkelijke / geplande inschakeling	-
Capaciteit	Aant. circuits x circuitvermogen, bv. 2 x 1200 MW (2 circuits van telkens 1200 MW, dus een geïnstalleerd vermogen van 2400 MW)
Spanning	Spanning in kV, en wisselstroom of gelijkstroom
Trajectlengte	Afstand tussen aansluitpunten
Circuitlengte	Afstand tussen aansluitpunten x aant. circuits
Lengte AC-kabelsysteem	Alleen voor wisselstroomkabels. Circuitlengte x aant. kabels per fase
Technologie	Bovengronds / Ondergronds / Onderzees / Gedeeltelijk ondergronds aangelegd; HVAC / HVDC;
Trajectkenmerken	-
Aansluitpuntinfrastructuur	Onderstations of convertorstations aan elk uiteinde van de circuits
Type netconfiguratie/aansluiting	Wisselstroomaansluiting: vermaasd net / radiale aansluiting Gelijkstroomaansluiting: punt-tot-punt / meerdere terminals
Kapitaalkosten	Wanneer de kapitaalkosten in vreemde valuta zijn uitgedrukt, is een equivalent in euro aangegeven op basis van een wisselkoers van december 2018.
Duur van de bouw	-
Externe drijfveren/problemen	-



Beauly Denny

Locatie Schotland, VK	**Technologie** Hoogspanningswisselstroom voor bovengrondse leiding
Eigenaar/beheerder SSE	**Trajectkenmerken** Doorkruist afgelegen en dunbevolkte gebieden in Schotland, waaronder rivierdalen, bossen en heide
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuw onderstation in Denny. Uitbreiding van bestaand onderstation in Beauly.
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2015	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit 1 x 2670 MW 1 x 1830 MW	**Kapitaalkosten**
Spanning* 400 kV wisselstroom 275 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2012 - 2015
Trajectlengte 220 km	**Externe drijfveren/problemen** Versterking van een afgelegen transmissieleiding in Schotland ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie
Circuitlengte 2 x 220 km	

* De bovengrondse leiding is ontworpen voor gebruik bij 400 kV, maar één circuit wordt gebruikt bij 275 kV



Brabo I, II en III

Locatie Vlaanderen, België	**Technologie** Bovengrondse hoogspanningswisselstroom
Eigenaar/beheerder Elia	**Trajectkenmerken** I, II en III: Bestaand traject van bovengrondse leiding van 150 kV
Projectstatus I: in gebruik, II: in aanbouw, III: planning	**Aansluitpuntinfrastructuur** I: uitbreiding van bestaand onderstation in Doel en Zandvliet, II: uitbreiding van bestaande onderstations in Lillo, III: uitbreiding van bestaande onderstations in Kallo en Mercator
Datum werkelijke/geplande inschakeling I: 2016, II: 2020, III: 2025	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit I: 1 x 1400 **MW** II: 2 x 1800 **MW** III: 2 x 1800 MW	**Kapitaalkosten** I: 30 miljoen EUR II: 62 miljoen EUR III: 62 miljoen EUR
Spanning 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** I: 2015 - 2016 II: 2017 - lopend (geschatte voltooiing in 2020) III: naar schatting 2023 - 2025
Trajectlengte I: 6 km, II: 18,5 km, III: 19 km	**Externe drijfveren/problemen** Netverzwaring
Circuitlengte I: 6 km, II: 37 km,	

North South Interconnector

Locatie Noord-Ierland - Republiek Ierland	**Technologie** Bovengrondse hoogspanningswisselstroom
Eigenaar/beheerder Eirgrid, SONI, NIE Networks	**Trajectkenmerken** Landelijk gebied
Projectstatus Goedgekeurd	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuw onderstation in Turleenan Uitbreiding van bestaand onderstation in Woodland
Datum werkelijke/ geplande inschak. 2021	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit 1 x 1500 MW	**Kapitaalkosten** 287 miljoen EUR
Spanning 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw**
Trajectlengte 137 km	**Externe drijfveren/problemen** Verdere interconnectie tussen Noord-Ierland en de Republiek Ierland
Circuitlengte 1 x 137 km	

Richborough - Canterbury

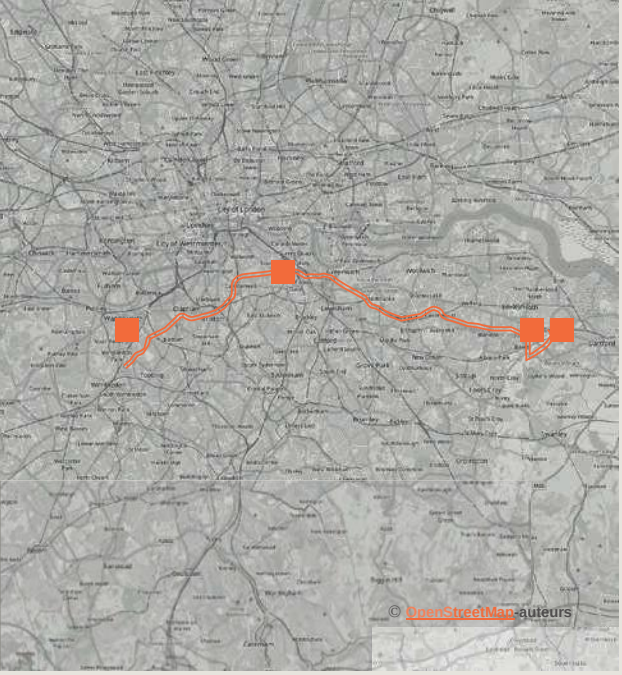
Locatie Southeast England, VK	**Technologie** Bovengrondse hoogspanningswisselstroom	**Capaciteit** 2 x 1250 MW	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder National Grid	**Trajectkenmerken** Landelijk gebied. Het nieuwe circuit is aangelegd op het bestaande traject van een bovengrondse leiding van 132 kV	**Spanning** 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2017 - lopend (geschatte voltooiing in KW4 2018)
Projectstatus In aanbouw	**Aansluitpuntinfrastructuur** Uitbreiding van een bestaand onderstation van 400 kV in Canterbury. Nieuw onderstation van 400 kV in Richborough.	**Trajectlengte** 21 km	**Externe drijfveren/problemen** Interconnectie tussen het VK en België (via de NEMO HVDC-verbinding)
Datum werkelijke/geplande inschakeling KW4 2018	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 2 x 21 km	

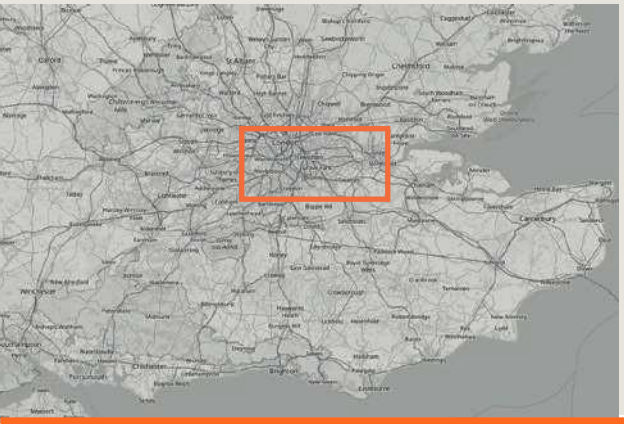
Luchthaven van Frankfurt

Locatie Duitsland	**Technologie** Ondergrondse gasgeïsoleerde hoogspanningswisselstroom	**Capaciteit** 2 x 1800 **MW**	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder Ampiron	**Trajectkenmerken** 87,5 km aan bovengrondse leidingen gaat vooraf aan de ondergrondse gasgeïsoleerde sectie in de buurt van de luchthaven	**Spanning** 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw**
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Bovengrondse leiding naar GGL, GGL naar nieuw gasgeïsoleerd onderstation	**Trajectlengte** 0,9 km	**Externe drijfveren/problemen** Een kleine sectie van de bestaande bovengrondse leiding moest ondergronds worden aangelegd vanwege de nabijheid van een landingsbaan. De installatie leverde ruimtebesparing op (minder brede corridor)
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2011	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 2 x 0,9 km	

Hornsea 1, 2 en 3

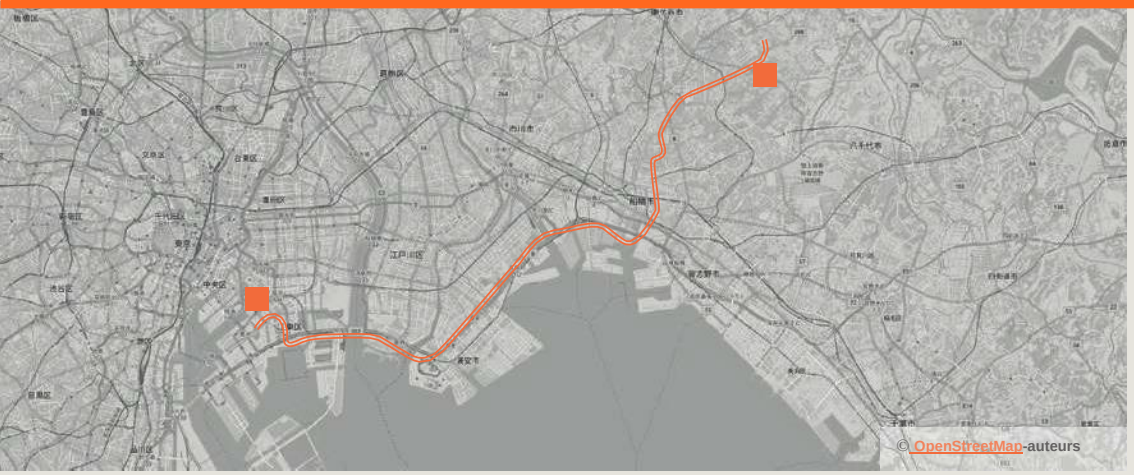
Locatie East of England, VK	**Technologie** 1 en 2: onderzeese hoogspanningswisselstroomkabel, 3: te bevestigen	**Capaciteit** 1: 1 x 1200 **MW** 2: 1 x 1800 **MW** 3: 2 x 1200 **MW**	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/ beheerder Ørsted	**Trajectkenmerken** 1 en 2: onderzees met onshoresectie. Offshore middelpuntplatform voor reactieve compensatie. 1 en 2 delen gemeenschappelijk traject. 3: te bevestigen	**Spanning** 1 en 2: 220 kV wisselstroom 3: te bevestigen	**Duur van de bouw** 1: 2016 - lopend (geschatte voltooiing 2018 - 2020) 2: 2018 - lopend (geschatte voltooiing 2020) 3: te bevestigen
Projectstatus 1 en 2: in aanbouw, 3: planning	**Aansluitpuntinfrastructuur** 1 en 2: offshore platforms gebouwd om windenergie te verzamelen, en voor reactieve compensatie te zorgen. Nieuw onshore onderstation in North Killingholme 3: te bevestigen	**Trajectlengte** 1: 190 km 2: 190 km 3: 216 km	**Externe drijfveren/problemen** 1, 2 en 3: noodzaak om stroom over te brengen van projecten van het offshore windmolenpark Hornsea naar het vasteland
Datum werkelijke/ geplande inschakeling 1: 2020 2: 2021 3: 2025	**Type netconfiguratie/aansluiting** 1 en 2: radiale aansluiting op vermaasd net 3: te bevestigen	**Circuitlengte** 1: 1 x 190 km (40 km aan land) 2: 1 x 190 km (40 km aan land) 3: te bevestigen (53 km aan land)	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 1: 1 x 1 x 190 km 2: 1 x 1 x 190 km 3: te bevestigen





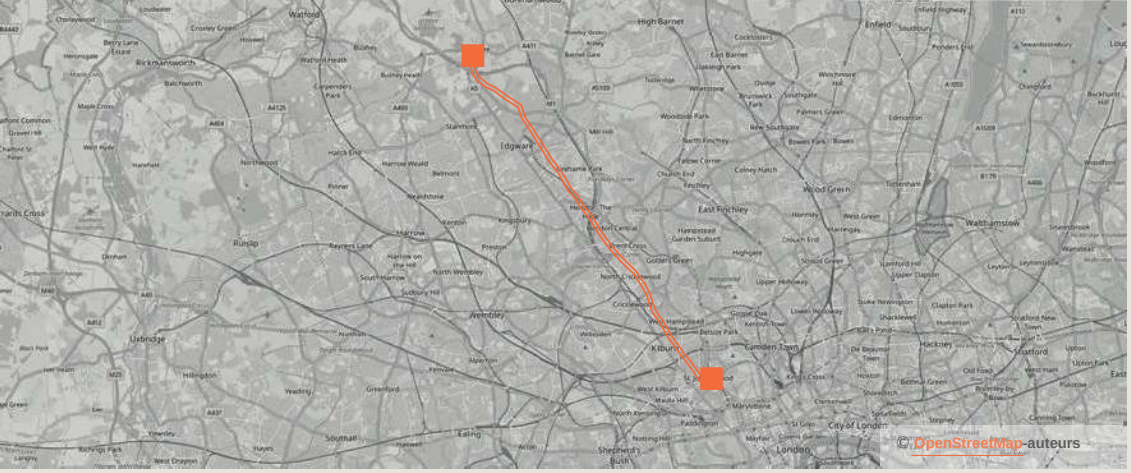
Londen Power Tunnels

Locatie Londen, VK	**Technologie** Hoogspanningswisselstroomkabe in tunnel
Eigenaar/beheerder National Grid	**Trajectkenmerken** Centrum van Londen - kabeltunnel
Projectstatus In aanbouw	**Aansluitpuntinfrastructuur** Uitbreiding van bestaande onderstations in Wimbledon en Crayford
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling Wimbledon - New Cross: 2025 New Cross - Hurst: 2026 Hurst - Crayford: 2026	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit 2 x 1600 MW	**Kapitaalkosten** 1,1 miljard EUR
Spanning 400 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** Wimbledon - New Cross: juli 2019 - maart 2025 New Cross - Hurst: juli 2019 - december 2025 Hurst - Crayford: januari 2023 - december 2025
Trajectlengte 32,5 km Wimbledon - New Cross: 12 km New Cross - Hurst: 18 km Hurst - Crayford: 2,5 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net. Een stedelijke omgeving met druk verkeer leidde tot een oplossing met een diepe tunnel
Circuitlengte 2 x 32,5 km	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 2 x 1 x 32.5 km (1 kabel per fase)



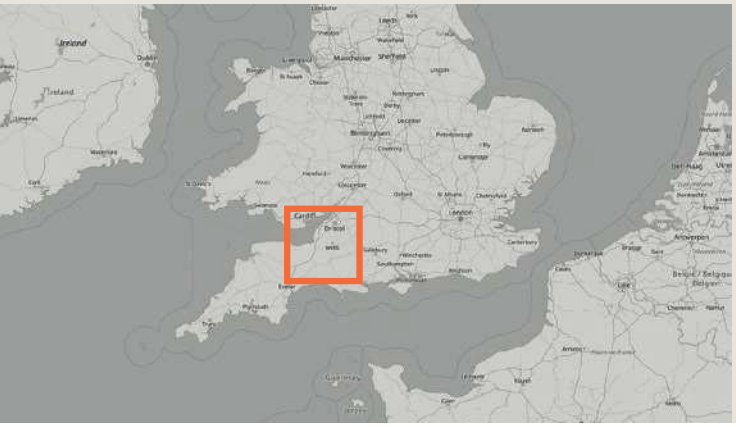
Shinkeiyo - Toyosu

Locatie Japan	**Technologie** Hoogspanningswisselstroomkabel in tunnel	**Capaciteit** 2 x 1200 MW	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/ beheerder Tokyo Electric Power Company (TEPCO)	**Trajectkenmerken** Kabeltunnel	**Spanning** 500 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 1995- 2000
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Sluit aan op onderstations in Shin-Toyosu en Shin-Keiyo	**Trajectlengte** 40 km	**Externe drijfveren/problemen** De aanleg door een stedelijke omgeving leidde tot de behoefte aan een kabeltunnel. De lengte van het systeem met lange kabels vereiste 1,2 GVA aan reactieve compensatie
Datum werkelijke/ geplande inschakeling 2000	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 2 x 40 km	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 2 x 1 x 40 km (1 kabel per fase)



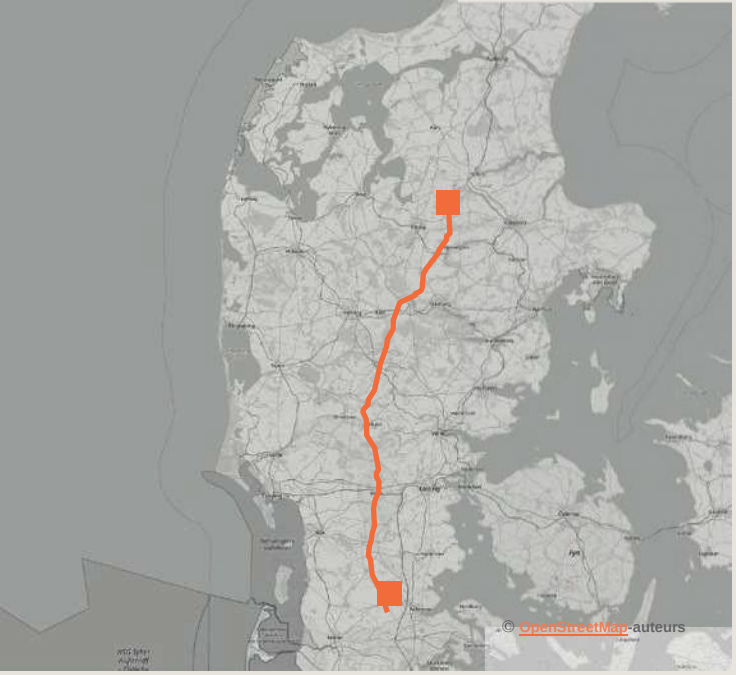
St John's Wood

Locatie Londen, VK	**Technologie** Hoogspanningswisselstroomkabel in tunnel	**Capaciteit** 1 x 1600 **MW**	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder National Grid	**Trajectkenmerken** Centrum van Londen - kabeltunnel	**Spanning** 400 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2002 - 2005
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Uitbreiding van bestaande onderstations in Elstree en St John's Wood	**Trajectlengte** 26 km	**Externe drijfveren/problemen** De aanleg door het centrum van Londen leidde tot de behoefte aan een kabeltunnel
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2005	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 1 x 26 km	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 1 x 1 x 26 km (1 kabel per fase)



Hinkley Point C

Locatie South west England, VK	**Technologie** Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse hoogspanningswisselstroom (43 km bovengronds en 8,5 km ondergronds)		
Eigenaar/beheerder National Grid	**Trajectkenmerken** Landelijk gebied. Doorkruist ecologisch beschermd gebied. Het nieuwe circuit wordt aangelegd op een bestaand traject van een bovengrondse leiding van 132 kV.		
Projectstatus Goedgekeurd	**Aansluitpuntinfrastructuur** Uitbreiding van een bestaand Seabank-onderstation van 400 kV. Nieuw onderstation van 400 kV in Hinkley Point C		
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2026	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net		
Capaciteit 2 x 2400 MW	**Kapitaalkosten** 875 miljoen EUR		
Spanning 400 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2018 - lopend (geschatte voltooiing in 2026)		
Trajectlengte 57 km	**Externe drijfveren/problemen** Aansluiting van nieuwe kerncentrale. De doorkruising van beschermd gebied leidde tot een gedeeltelijk ondergrondse aanleg.		
Circuitlengte 2 x 43 km bovengronds 2 x 8,5 km ondergronds	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 2 x 2 x 8,5 km (2 kabels per fase)		



Kassø - Tjele

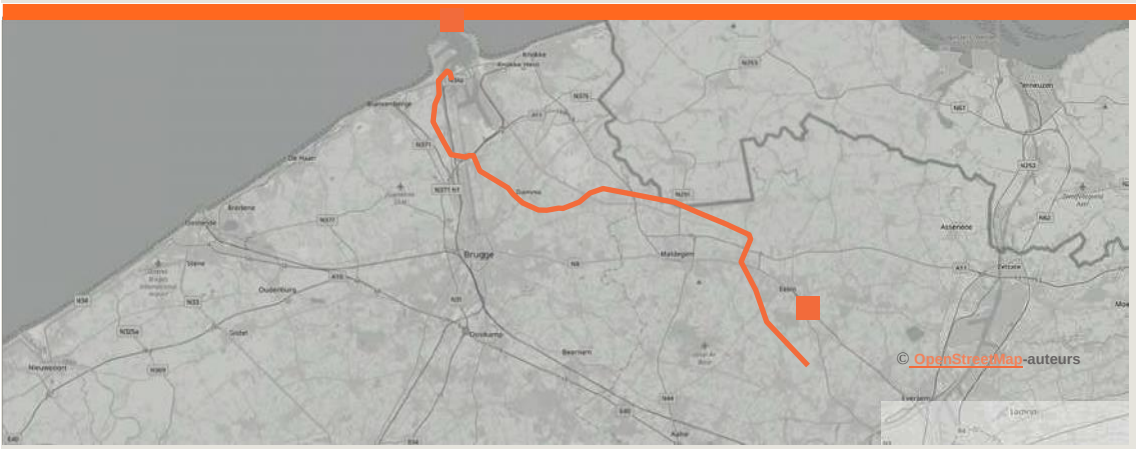
Locatie Denemarken	**Technologie** Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse hoogspanningswisselstroom
Eigenaar/ beheerder Energinet	**Trajectkenmerken** Bestaand traject van bovengrondse leiding
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Uitbreidingen van bestaande onderstations in Kassø and Tjele
Datum werkelijke/ geplande inschak. 2015	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit 2 x 1800 MW	**Kapitaalkosten** 390 miljoen EUR
Spanning 400 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2010 - 2015
Trajectlengte 172 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie. Aanpassing van bovengronds traject en sectie van ondergrondse kabel vereist in milieugevoelige gebieden. Er werd een nieuwe mast met bovengrondse leiding met een beperkte visuele impact ontworpen voor het project
Circuitlengte 2 x 172 km (151 km bovengronds en 21 km ondergronds)	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 2 x 2 x 21 km (2 kabels per fase)

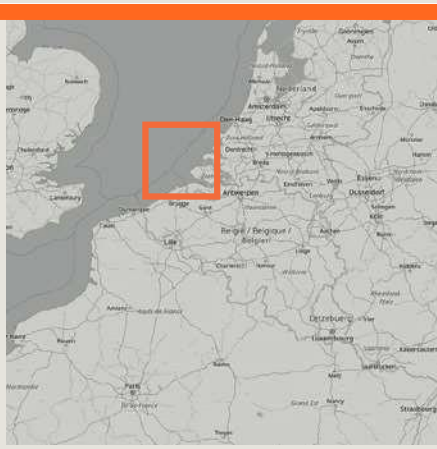
Randstad

Locatie Nederland	**Technologie** Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse hoogspanningswisselstroom
Eigenaar/beheerder Tennet	**Trajectkenmerken** Het nieuwe traject wordt gecombineerd met bestaande grote infrastructuur, waaronder bestaande trajecten van bovengrondse leidingen van 150 kV
Projectstatus Zuidring: in gebruik Noordring: in aanbouw	**Aansluitpuntinfrastructuur** Zuidring: uitbreiding van bestaande onderstations in Wateringen en Bleiswijk. Noordring: uitbreiding van bestaande onderstations in Bleiswijk en Beverwijk
Datum werkelijke/geplande inschak. Zuidring: 2014 Noordring: KW3 2019	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net
Capaciteit 2 x 3000 MW BGL, 2 x 2100 MW OGK	**Kapitaalkosten**
Spanning 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** Ongeveer 5 jaar
Trajectlengte Zuidring: 21 km Noordring: 60 km	**Externe drijfveren/problemen** Gebruik van horizontaal gerichte boring voor de oversteek van obstructies, waaronder spoorwegen, een autosnelweg, een rivier en tal van waterlopen
Circuitlengte Zuidring: 2 x 21 km (10 km bovengronds, 11 km ondergronds) Noordring: 2 x 60 km (51 km bovengronds, 9 km ondergronds)	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** Zuidring: 2 x 2 x 11 km (2 kabels per fase) Noordring: 2 x 2 x 9 km (2 kabels per fase)

Sorgente - Rizziconi

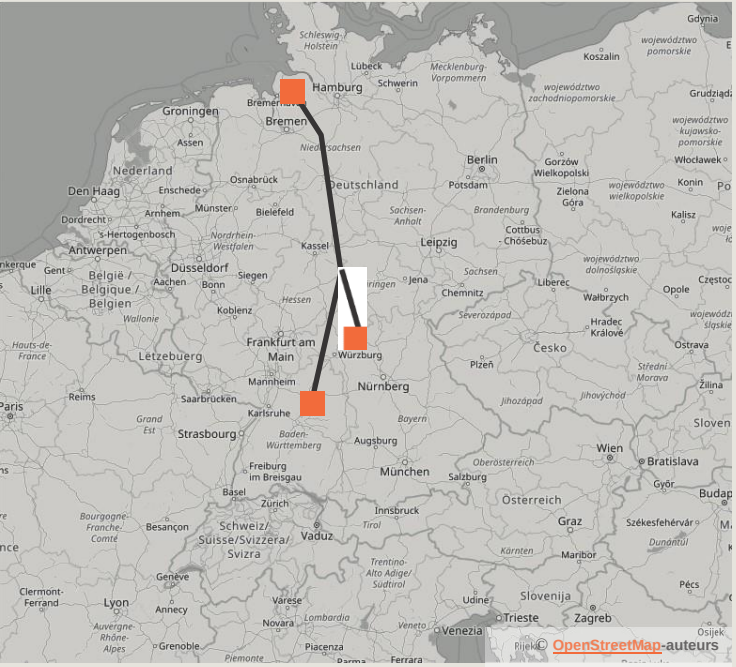
Locatie Vasteland Italië - Sicilië	**Technologie** Gemengde bovengrondse en onderzeese hoogspanningswisselstroom	**Capaciteit** 2 x 1000 MW	**Kapitaalkosten** 565 miljoen EUR
Eigenaar/beheerder Terna	**Trajectkenmerken** Onshore en offshore	**Spanning** 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2009-2014
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Onderstations in Rizziconi (vasteland) en Sorgente (Sicilië)	**Trajectlengte** 103 km	**Externe drijfveren/problemen** Verhoging van de capaciteit en beveiliging van de stroomvoorziening
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2015	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 2 x 103 km (60 km bovengronds, 38 km onderzees, 5 km ondergronds)	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 2 x 1 x 43 km (1 kabel per fase)





Stevin

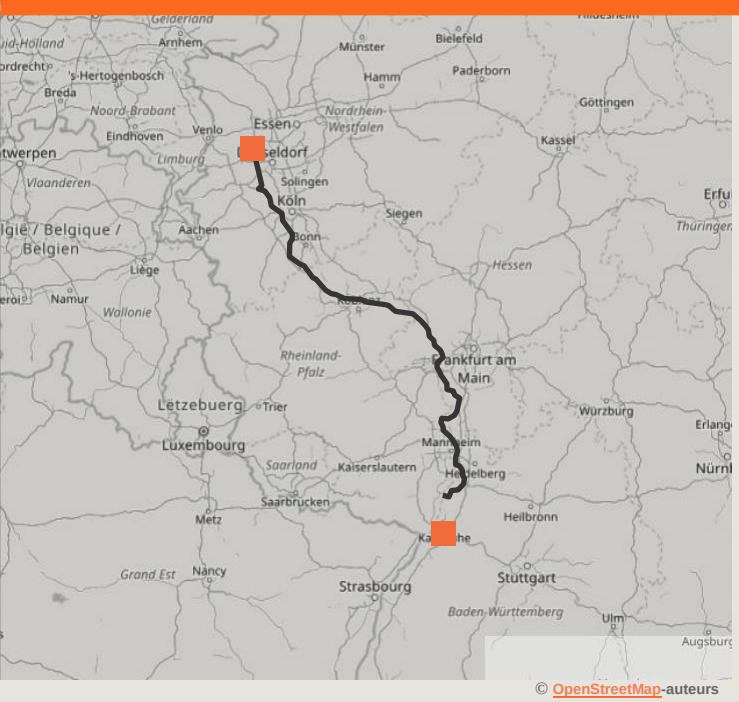
Locatie België, Vlaanderen	**Technologie** Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse hoogspanningswisselstroom	**Capaciteit** 2 x 3000 MW BGL 4 x 1000 MW OGK	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder Elia	**Trajectkenmerken** 12 km hergebruik van bestaande bovengrondse leiding en 27 km nieuwe bovengrondse leidingen. 10 km aan ondergrondse kabels met tunnel van 230 m onder het Boudewijnkanaal	**Spanning** 380 kV wisselstroom	**Duur van de bouw** 2015-2017
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuw onderstation Stevin in Zeebrugge. 2 nieuwe onderstations Gezelle en Van Maerlant	**Trajectlengte** 47 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de interconnectie met het VK en de transmissie van hernieuwbare energie in de Noordzee
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2017	**Type netconfiguratie/aansluiting** Vermaasd net	**Circuitlengte** 2 x 37 km bovengronds, 4 x 10 km ondergronds	**Lengte van het wisselstroomkabelsysteem** 4 x 1 x 10 km (1 kabel per fase)



© OpenStreetMap-auteurs

Suedlink

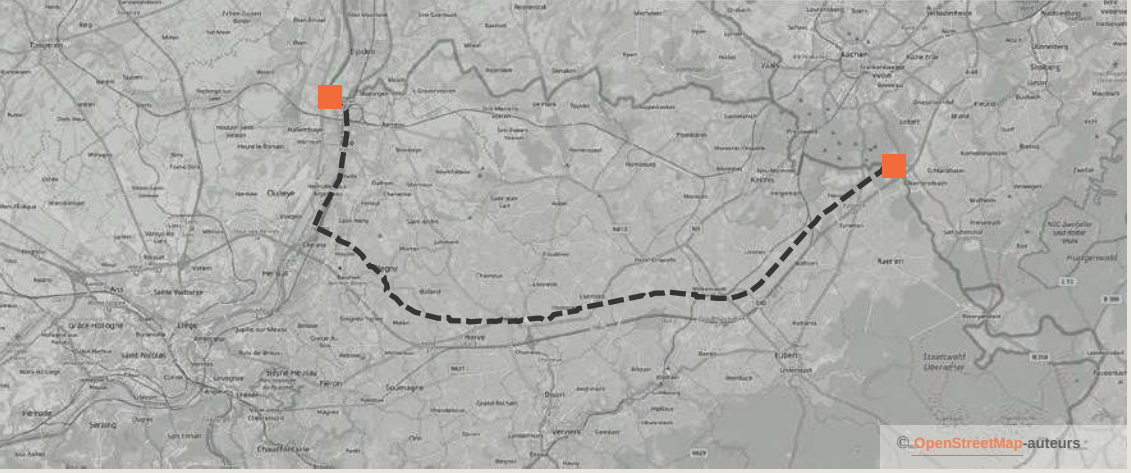
Locatie Duitsland	**Technologie** Hoogspanningsgelijkstroom
Eigenaar/beheerder ARGE Suedlink, TenneT	**Trajectkenmerken**
Projectstatus Planning	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Wilster - Grafenrheinfeld en Brunsbüttel - Grolsgartach
Datum werkelijke/ geplande insch. 2025	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt
Capaciteit 2 x 2000 MW	**Kapitaalkosten** 5.2 miljard EUR
Spanning 500 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw**
Trajectlengte 550 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie. Grote capaciteit en lange afstand leidden tot HVDC-technologie
Circuitlengte 2 x 550 km	

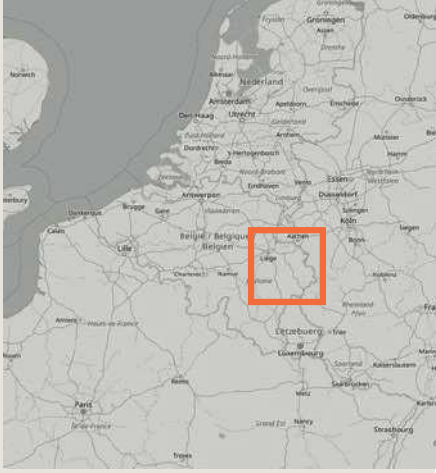


© OpenStreetMap-auteurs

Ultranet

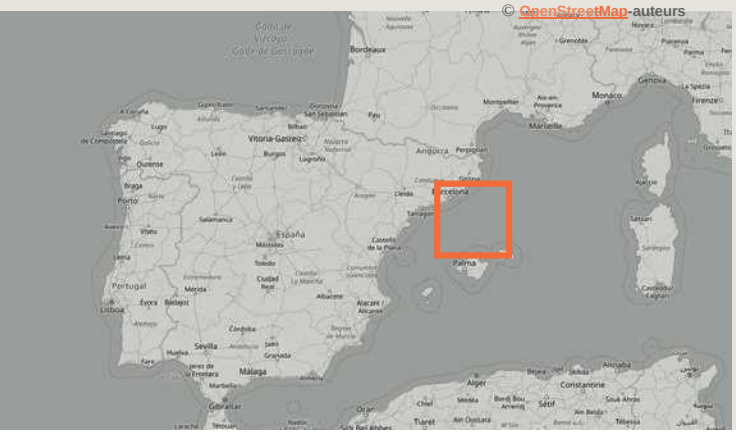
Locatie Duitsland	**Technologie** Bovengrondse hoogspanningsgelijkstroom
Eigenaar/beheerder TransetBW, Amprion	**Trajectkenmerken** Gebruik van bestaande bovengrondse leiding
Projectstatus Planning	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Osterath en Phillippsburg
Datum werkelijke/ geplande insch.	**Type netconfiguratie/aansluiting** Verbinding met meerdere terminals (aansluiting op de A North HVDC-verbinding)
Capaciteit 1 x 2000 MW	**Kapitaalkosten** 910 miljoen EUR
Spanning 380 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw**
Trajectlengte 340 km	**Externe drijfveren/problemen** Noodzaak om windenergie over te brengen van het noorden van Duitsland naar het zuiden, waar bestaande kerncentrales buiten bedrijf worden gesteld tegen 2022
Circuitlengte 1 x 340 km	





Alegro

Locatie België - Duitsland	**Technologie** Ondergrondse hoogspanningsgelijkstroom	**Capaciteit** 1 x 1000 MW	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder Elia, Amprion	**Trajectkenmerken** 49 km in België, 41 km in Duitsland. Evenwijdig met de Europese autosnelweg E40 tussen België en Duitsland. 700 m lange microtunnel onder de Maas en het Albertkanaal	**Spanning** 380 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw** 2018 - lopend (geschatte voltooiing in 2020)
Projectstatus In aanbouw	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Lixhe en Oberzier	**Trajectlengte** 90 km	**Externe drijfveren/problemen** Interconnectie tussen Duitsland en België
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2020	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt	**Circuitlengte** 1 x 90 km	

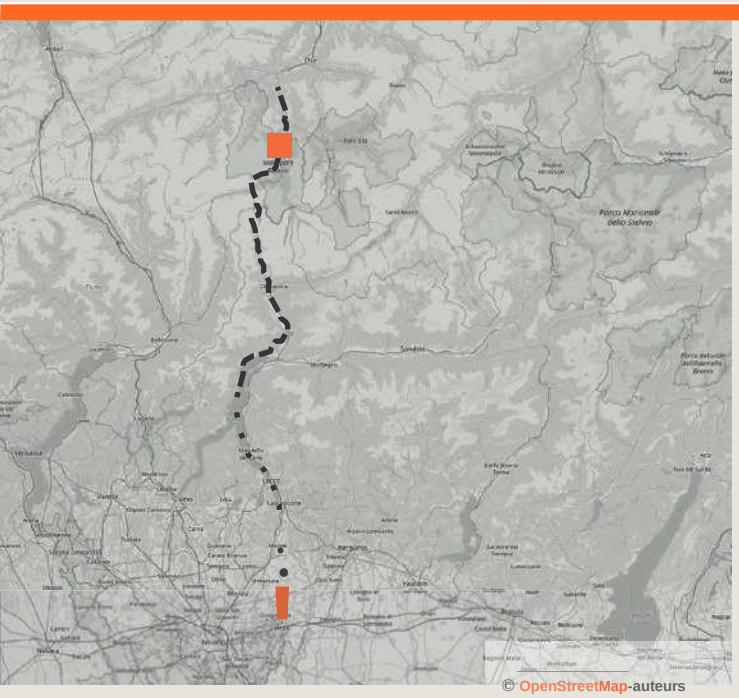


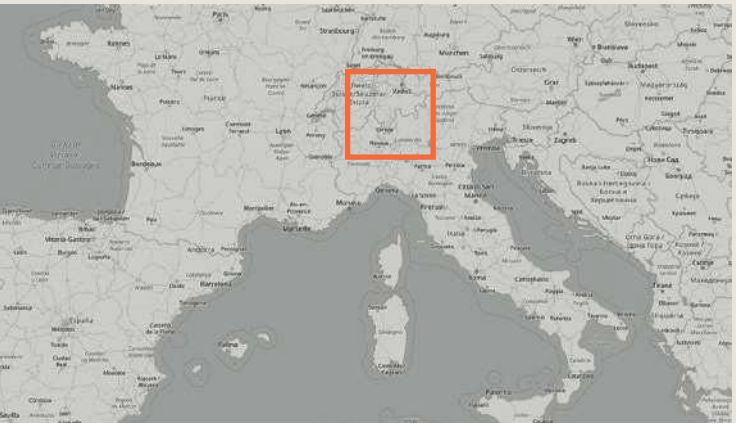
Baixas-Santa Llogaia

Locatie Frankrijk - Spanje	**Technologie** Ondergrondse hoogspanningsgelijkstroom	
Eigenaar/beheerder INELFE	**Trajectkenmerken** Het centrale deel van de leiding doorkruist de Pyreneeën aan het Alberamassief. Voor deze sectie werd een tunnel van 8,5 km gebouwd.	
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Baixas (Frankrijk) en Santa Llogaia (Spanje)	
Datum werkelijke/ geplande inschak. 2015	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt	
Capaciteit 2 x 1000 **MW**	**Kapitaalkosten** 700 miljoen EUR	
Spanning 320 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw**	
Trajectlengte 64,5 km	**Externe drijfveren/problemen** Interconnectie tussen Frankrijk en Spanje	
Circuitlengte 2 x 64,5 km		

BritNed

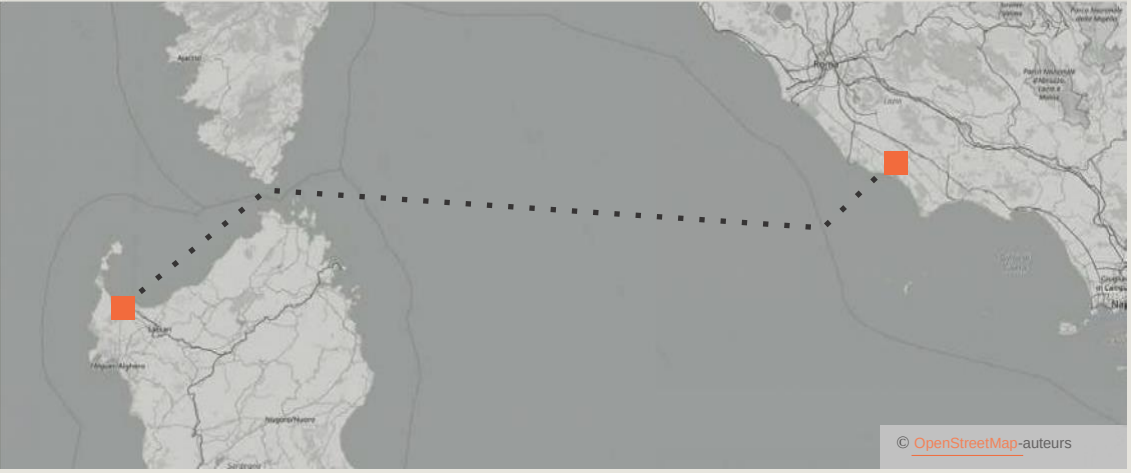
Locatie VK - Nederland	**Technologie** Onderzeese hoogspanningsgelijkstroomkabel	**Capaciteit** 1 x 1000 MW	**Kapitaalkosten** 600 miljoen EUR
Eigenaar/beheerder BritNed Development Limited	**Trajectkenmerken** Onderzees	**Spanning** 450 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw** 03/2009 - 02/2011
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in de Maasvlakte en Grain	**Trajectlengte** 260 km	**Externe drijfveren/problemen** Interconnectie tussen het VK en Nederland. De lengte van het traject en de behoefte aan een onderzeese kabel leidden tot HVDC-technologie
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2011	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt	**Circuitlengte** 1 x 250 km onderzees, 1 x 10 km ondergronds	

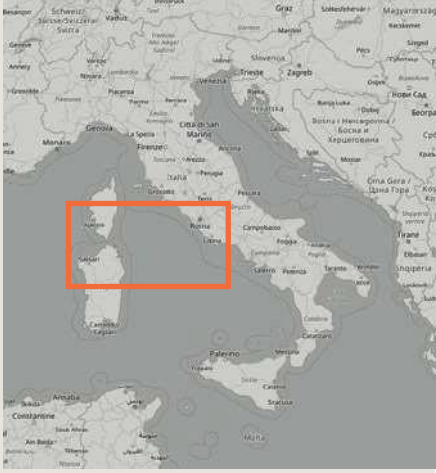




Greenconnector

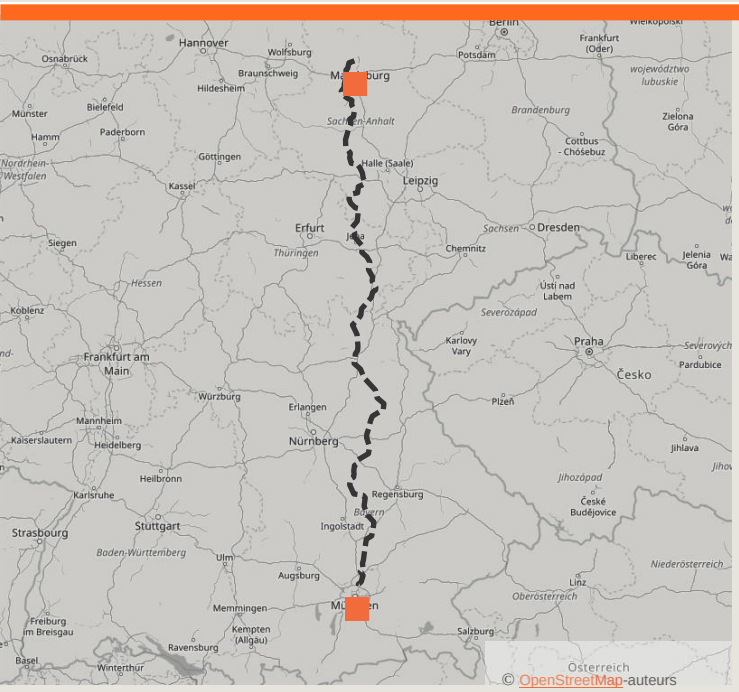
Locatie Italië - Zwitserland	**Technologie** Ondergrondse en onderzeese hoogspanningsgelijkstroom		
Eigenaar/beheerder World energy SA	**Trajectkenmerken** Voor een deel van het circuit zal gebruik worden gemaakt van een bestaande oliepijpleiding die niet meer in gebruik is. 47 km aan onderzeese kabels (Comomeer)		
Projectstatus Goedgekeurd	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Sils en Verderio Inferiore		
Datum werkelijke/ geplande inschak. 2021	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt		
Capaciteit 1 x 1000 MW	**Kapitaalkosten** 660 miljoen EUR		
Spanning 400 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw** Geschatte voltooiing in 2021		
Trajectlengte 150 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie door de Alpen. Minimalisering van de gevolgen voor het milieu was een prioriteit, met als gevolg dat alleen ondergrondse / onderzeese kabels werden overwogen		
Circuitlengte 1 x 150 km			





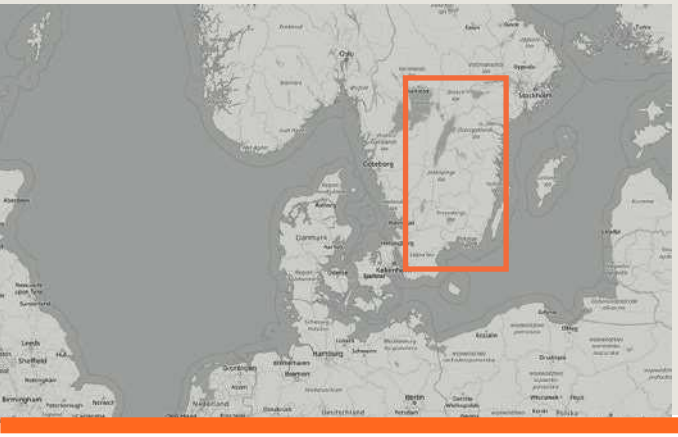
Sapei

Locatie Vasteland Italië - Sardinië	**Technologie** Onderzeese hoogspanningsgelijkstroomkabel	**Capaciteit** 1 x 1000 MW	**Kapitaalkosten**
Eigenaar/beheerder Terna	**Trajectkenmerken** Onderzees	**Spanning** 500 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw**
Projectstatus In gebruik	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Fiume Santo en Latina	**Trajectlengte** 435 km	**Externe drijfveren/problemen** Extra aansluiting tussen het vasteland van Italië en Sardinië. De lengte van het traject en de behoefte aan een onderzeese kabel leidden tot HVDC-technologie
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2010	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt	**Circuitlengte** 1 x 435 km	



SuedOstlink

Locatie Duitsland	**Technologie** Ondergrondse hoogspanningsgelijkstroom		
Eigenaar/beheerder 50Hertz, TenneT	**Trajectkenmerken**		
Projectstatus Goedgekeurd	**Aansluitpuntinfrastructuur** Nieuwe convertorstations in Wolmirstedt en Isar		
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 2022	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt		
Capaciteit 1 x 2000 **MW**	**Kapitaalkosten**		
Spanning te bevestigen	**Duur van de bouw**		
Trajectlengte 580 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie		
Circuitlengte 1 x 580 km			



SouthWest Link

Locatie Zweden	**Technologie** Bovengrondse hoogspanningswisselstroom. Gemengde bovengrondse en ondergrondse hoogspanningsgelijkstroom
Eigenaar/beheerder Svenska Kraftnat	**Trajectkenmerken**
Projectstatus in aanbouw	**Aansluitpuntinfrastructuur** Wisselstroomonderstations in Hallsberg en Barkeryd met nieuwe convertorstations in Barkeryd en Hurva
Datum van de werkelijke/geplande inschakeling 02/2019	**Type netconfiguratie/aansluiting** Punt-tot-punt voor vermaasd gelijkstroomnet voor wisselstroom
Capaciteit 2 x 600 MW	**Kapitaalkosten**
Spanning 400 kV wisselstroom 300 kV gelijkstroom	**Duur van de bouw** 2013 - 2019
Trajectlengte 430 km	**Externe drijfveren/problemen** Verzwaring van het net ter ondersteuning van de transmissie van hernieuwbare energie Een extra westelijke vertakking naar Noorwegen was gepland, maar werd niet gebouwd omdat uit een herziene analyse bleek dat er onvoldoende voordelen waren
Circuitlengte 2 x 180 km wisselstroom bovengr x 60 km gelijkstroom bovengrond 2 x 190 km gelijkstroom ondergronds	

MOTT MACDONALD

Elia Future Grid 2030

Stevin-Avelgem & Avelgem-Center Power Corridor
Comparison of Technology Options

05 March 2019

Elia Engineering SA

Mott MacDonald
Victory House
Trafalgar Place
Brighton BN1 4FY
United Kingdom

T +44 (0)1273 365000
F +44 (0)1273 365100
mottmac.com

Elia Engineering SA
Leon Monnnoyer 3
B-1000 Brussels

Elia Future Grid 2030

Stevin-Avelgem & Avelgem-Center Power Corridor
Comparison of Technology Options

05 March 2019

Mott MacDonald Limited. Registered in England and Wales no. 1243967.
Registered office: Mott MacDonald House, 8-10 Sydenham Road, Croydon CR0 2EE, United Kingdom

Issue and Revision Record

Revision	Date	Originator	Checker	Approver	Description
A	11/12/18	P Lear C Blair B Barrett	P Fletcher	P Fletcher	First issue
B	11/01/19	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Second issue
C	05/03/19	P Lear	P Lear	P Lear	Final issue

Document reference: 403182 | 02 | C

Information class: Standard

This Report has been prepared solely for use by the party which commissioned it (ELIA) in connection with the captioned project. It should not be used for any other purpose. No person other than the ELIA or any party who has expressly agreed terms of reliance with us (the 'Recipient(s)') may rely on the content, information or any views expressed in the Report. This Report contains proprietary intellectual property and we accept no duty of care, responsibility or liability to any other recipient of this Report. No representation, warranty or undertaking, express or implied, is made and no responsibility or liability is accepted by us to any party other than ELIA or any Recipient(s), as to the accuracy or completeness of the information contained in this Report. For the avoidance of doubt this Report does not in any way purport to include any legal, insurance or financial advice or opinion.

We disclaim all and any liability whether arising in tort, contract or otherwise which we might otherwise have to any party other than ELIA or the Recipient(s), in respect of this Report, or any information contained in it. We accept no responsibility for any error or omission in the Report which is due to an error or omission in data, information or statements supplied to us by other parties including ELIA (the 'Data'). We have not independently verified the Data or otherwise examined it to determine the accuracy, completeness, sufficiency for any purpose or feasibility for any particular outcome including financial.

Forecasts presented in this document were prepared using the Data and the Report is dependent or based on the Data. Inevitably, some of the assumptions used to develop the forecasts will not be realised and unanticipated events and circumstances may occur. Consequently, we do not guarantee or warrant the conclusions contained in the Report as there are likely to be differences between the forecasts and the actual results and those differences may be material. While we consider that the information and opinions given in this Report are sound all parties must rely on their own skill and judgement when making use of it.

Information and opinions are current only as of the date of the Report and we accept no responsibility for updating such information or opinion. It should, therefore, not be assumed that any such information or opinion continues to be accurate subsequent to the date of the Report. Under no circumstances may this Report or any extract or summary thereof be used in connection with any public or private securities offering including any related memorandum or prospectus for any securities offering or stock exchange listing or announcement.

By acceptance of this Report you agree to be bound by this disclaimer. This disclaimer and any issues, disputes or claims arising out of or in connection with it (whether contractual or non-contractual in nature such as claims in tort, from breach of statute or regulation or otherwise) shall be governed by, and construed in accordance with, the laws of Belgium to the exclusion of all conflict of laws principles and rules. All disputes or claims arising out of or relating to this disclaimer shall be subject to the exclusive jurisdiction of the Brussels courts to which the parties irrevocably submit.

Contents

1 Introduction 1

2 Context and Background 2

2.1 Introduction to Elia 2
2.2 Future Grid 2030 needs case 2
2.2.1 A power system in transformation 2
2.2.2 Elia's Federal Development Plan 2
2.2.3 Future Grid 2030 project 3
2.3 Elia's obligations 3

3 Power Corridor Technology Options 4

3.1 Technology options 4
3.2 Power corridor technical requirements 4

4 Methodology for Comparing Technology Options 5

5 AC Overhead Line 6

5.1 380 kV overhead line installation 6
5.2 Overhead line safety 7
5.3 Overhead line technical performance 7
5.3.1 Maturity of technology 7
5.3.2 Electrical impact on the grid 9
5.3.3 System complexity 9
5.3.4 Provision of future connections 9
5.3.5 Availability and reliability 9
5.3.6 Operation and maintenance 9
5.4 Overhead line environmental impact 10
5.4.1 Land use 10
5.4.2 Ecology 10
5.4.3 Audible noise 10
5.4.4 Electric and magnetic fields 11
5.5 Overhead line planning, permitting and construction programme 12
5.6 Overhead line whole life cost 13
5.7 Overhead line summary 14

6 AC Underground Cable 15

6.1 380 kV underground cable installation 15
6.2 Underground cable safety 17

6.3 Underground cable technical performance 17
6.3.1 Maturity of technology 17
6.3.2 Electrical effect on the grid 17
6.3.3 System complexity 19
6.3.4 Provision of future connections 19
6.3.5 Availability & reliability 19
6.3.6 Operation & maintenance 20
6.4 Underground cable environmental impact 20
6.4.1 Land use 20
6.4.2 Ecology 20
6.4.3 Electric and magnetic fields 21
6.5 Underground cable planning, permitting and construction programme 21
6.6 Underground cable whole life cost 21
6.7 Underground cable summary 22

7 Partially Undergrounded AC Overhead Line 24

8 Alternative Underground Technologies 25
8.1 Gas insulated line 25
8.2 Superconducting cable 25

9 HVDC as an alternative to HVAC 27
9.1 HVDC configuration 27
9.2 HVDC topology 28
9.3 HVDC installation 29
9.3.1 HVDC converter station 29
9.3.2 HVDC underground cable installation 31
9.4 HVDC safety 32
9.5 HVDC technical performance 32
9.5.1 Maturity of technology 32
9.5.2 Electrical effect on the grid 33
9.5.3 System complexity, availability and reliability 33
9.5.4 Provision of future connections 34
9.5.5 Operation and maintenance 34
9.6 HVDC environmental impact 34
9.7 HVDC planning, permitting and construction programme 34
9.8 HVDC whole life cost 35
9.9 HVDC summary 36

10 Summary of Technology Comparison 38

11 Glossary of technical terms and acronyms 40

1 Introduction

Elia Engineering has commissioned Mott MacDonald to carry out a review of technology options for high voltage electricity power corridors.

This report compares technology options against the specific requirements of the Elia Future Grid 2030 project.

Mott MacDonald is a global engineering, management and development consultancy with our registered head office in the UK. One of our areas of specialism is power generation, transmission and distribution where we offer a complete range of engineering services required for the development and implementation of high voltage power systems.

2 Context and Background

2.1 Introduction to Elia

Elia owns and operates the Belgian high voltage electricity transmission grid. Assets include all Belgian 150 kV, 220 kV and 380 kV electricity grid infrastructure, and almost 94% of the grid infrastructure between 30 kV and 70 kV. Elia's grid is made up of 3,000 km of overhead line, 5,500 km of underground cable and 800 substations.

Elia's main activities:

- Managing infrastructure: Maintaining and developing the grid, as well as connecting electrical installations to the grid;
- Operating the electricity system: Granting access to the grid in a straightforward, objective and transparent way, providing full services for transporting electricity, monitoring flows on the grid to ensure that electricity runs smoothly and managing the balance between electricity consumption and production 24 hours a day;
- Facilitating the market: Developing initiatives to improve how the electricity market operates and making its infrastructure available to all market players in a transparent, non-discriminatory way. Elia develops services and mechanisms allowing the market to trade on different platforms, which promotes economic competitiveness and wellbeing.

2.2 Future Grid 2030 needs case

2.2.1 A power system in transformation

The Belgian power system is going through a transformation.

Like many power systems across the world it has traditionally been dominated by a small number of very large, centralised thermal power plants.

Today's power system must incorporate energy produced from many power generation sources and technologies and there is increased international energy exchange. Elia's grid is a key link between France, Europe's largest electricity exporter, and markets in Northern Europe.

At the same time, Elia is facing the challenge of achieving an energy system which is sustainable, affordable and reliable. This is known as the "energy trilemma".

Substantial expansion and reinforcement of the Belgian grid is required to face today's challenges, and to support an increasing amount of generation from renewable sources in line with policy targets.

2.2.2 Elia's Federal Development Plan

Elia's Federal Development Plan covers a period of 10 years and is adapted and published every 4 years. It is developed in collaboration with the Federal Public Service Economy and the Federal Planning Bureau.

The 2020-2030 Federal Development Plan identifies capacity needs for the Belgian high voltage grid (150 kV, 220 kV and 380 kV) for the period between 2020 and 2030 and describes the investment program required to achieve this.

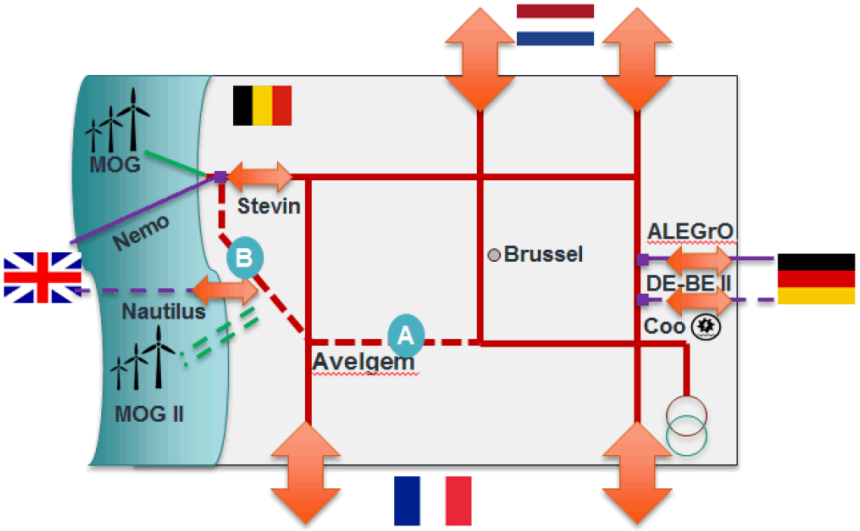
The plan includes the strengthening of the 380 kV transmission grid, the integration of additional offshore wind generation and the development of interconnections with other countries.

2.2.3 Future Grid 2030 project

The Future Grid 2030 project is included in the 2020-2030 Federal Development Plan:

- Creation of a new 6 GW (2 x 3 GW) connection between Stevin and Avelgem, the Stevin-Avelgem corridor
- Creation of a new 6 GW (2 x 3 GW) connection between Avelgem and the centre of the country, the Avelgem-Centre corridor

Figure 1: Future Grid 2030



Source: Elia

2.3 Elia's obligations

Each technology option should be considered in the context of Elia's statutory and regulatory obligations. The following obligations are considered for all new developments:

1. Safety – Compliance with all relevant safety standards
2. Environment – Compliance with all environmental standards and policies
3. Reliability and availability – The extent to which the grid is available for operation, considering downtime for planned and unplanned outages.
4. Robustness and flexibility – The capability of the grid to withstand non-standard operating conditions and grid faults without loss of supply, and the provision for future grid connections and reinforcements.
5. Economic efficiency – Provision of a cost-effective solution which meets the project requirements whilst managing the lifetime cost of the development.

3 Power Corridor Technology Options

3.1 Technology options

This report considers the following high voltage power corridor technology options:

- Overhead lines
- Underground cables
- High voltage direct current (HVDC) as an alternative to high voltage alternating current (HVAC)

3.2 Power corridor technical requirements

The Future Grid 2030 power corridor has the following technical functionality requirements:

Table 1: Basic technical requirements

Criteria	Requirement
Power capacity	6 GW
Redundancy	50% availability after a single grid fault (i.e. the requirement is for at least two independent 3 GW circuits, or 2 x 3 GW capacity)
Length	50-100 km
Provision for future additional connections to the new lines	Required

4 Methodology for Comparing Technology Options

Power corridor technology options have been compared against the following technical criteria:

Table 2: Criteria for comparison of technology options

Criteria	Notes
Safety	The technologies discussed in the report are capable of compliance with all relevant safety standards. They can be made safe in any area, including publicly accessible areas. Safety is therefore not considered in detail in the report.
Technical performance	To include: • Maturity of technology • System complexity • Electrical impact on the grid • Provision for additional future connections • Operation & maintenance
Environmental impact[1]	To include environmental, ecological and societal impact. See note 1.
Planning, permitting and construction programme	-
Whole life cost	-

[1] Separate and more detailed environmental, ecological and social impact assessments and studies into public acceptance are being carried out by others.

The key technical risks associated with the application of each technology for the Elia Future Grid 2030 project are identified and discussed.

Each technology is considered against the following scoring criteria:

Table 3: Scoring criteria

Score	Description
++	Very low risk / significant advantage
+	Low risk / moderate advantage
-	Moderate risk / moderate disadvantage
- -	Significant risk / significant disadvantage
X	Does not meet the minimum requirements

5 AC Overhead Line

At present Elia operates the transmission grid at 150 kV, 220 kV and 380 kV.

380 kV is considered the most appropriate AC operating voltage for the Future Grid 2030 power corridor to meet the required power transmission capacity. Increasing the voltage decreases the current flowing in the lines, which consequently decreases power loss.

A 380 kV double circuit overhead line will meet the Future Grid 2030 technical requirements.

5.1 380 kV overhead line installation

The required 6 GW capacity can be provided via a double circuit overhead line, i.e. 2 x 3 GW circuits supported on a single tower structure.

The tower design will be selected as part of the route design. Standard steel lattice tower designs include vertical and triangular (also known as Donau) conductor arrangements. Vertical towers are taller and narrower than Donau towers, which are shorter and wider.

Figure 2: Double circuit steel lattice tower (vertical conductor arrangement)

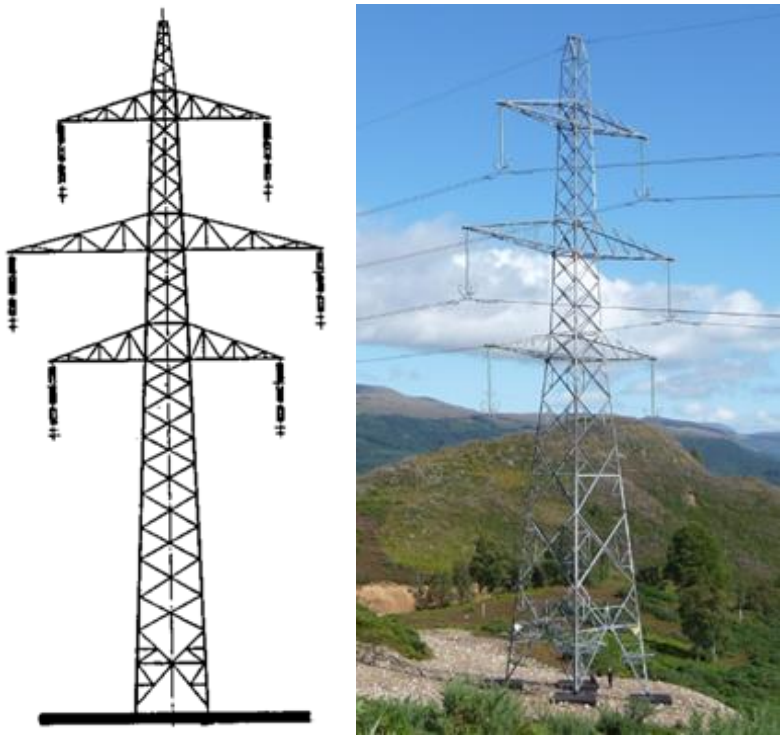
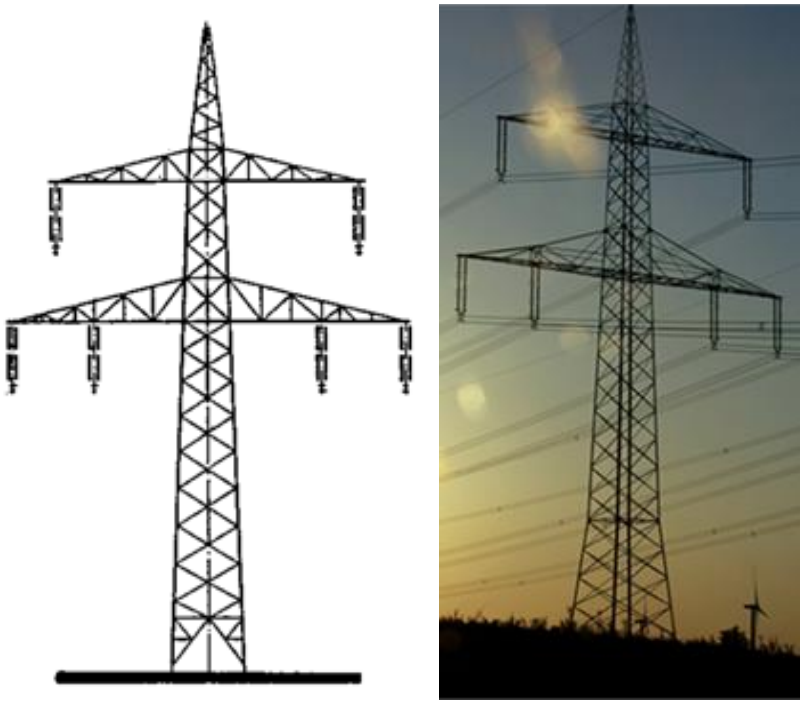


Figure 3: Donau double circuit overhead line tower



Tower height and the spacing between towers are selected so that a minimum safe conductor height above ground is maintained. Standard spacing of 380 kV towers is at 350-400 m intervals. Tower heights vary based on tower type and position; 380 kV towers for vertical conductor configurations are typically 50 m high with a base dimension of around 8 m whilst Donau towers are around 40m in height.

5.2 Overhead line safety

Overhead lines are constructed to national standards to ensure they are designed for the local environmental conditions whilst maintaining adequate ground clearance with the conductor at its maximum sag.

5.3 Overhead line technical performance

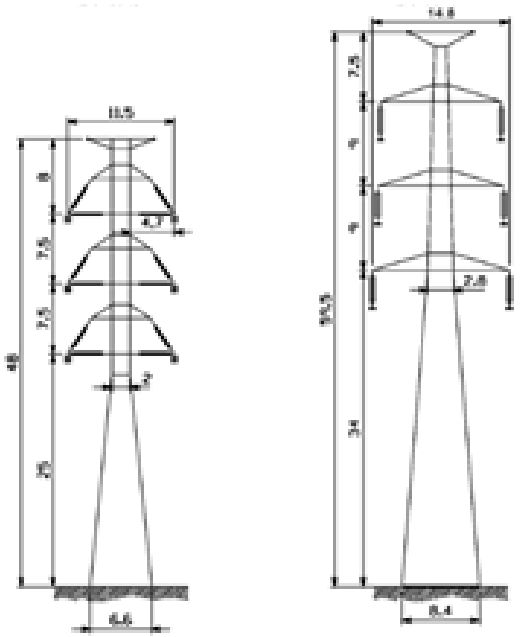
A standard 380 kV overhead line installation can achieve the technical requirements of the Future Grid 2030 project.

5.3.1 Maturity of technology

Overhead line is a mature technology which has remained largely unchanged for over 50 years.

There are variations to the standard steel lattice tower designs, for example the more compact insulated cross arm constructions (see Figure 4 and Figure 5) and folded steel structures which may be considered more visually pleasing (see Figure 6).

Figure 4: Compact (insulated cross arm) tower compared to a conventional tower



Source: Elia

Figure 5: Compact 380 kV tower

Source: Elia

Figure 6: 380 kV folded steel structure

Source: National Grid UK

5.3.2 Electrical impact on the grid

Overhead line has a low electrical impact on the system in which it is connected and hence will not have a significant adverse effect on the transmission grid.

5.3.3 System complexity

Overhead line is relatively simple in construction and operation.

5.3.4 Provision of future connections

It is straightforward to provide future connections to an existing AC overhead line via standard connection arrangements.

5.3.5 Availability and reliability

Overhead line is a robust technology and has high availability and reliability. For temporary faults the line is usually returned to service automatically within seconds of an incident with minimal disruption to customer supply. However, when damage leads to a sustained fault, automatic re-energisation will be unsuccessful, and the line must be taken out of service. Physical damage can be readily identified by visual inspection. Damage tends to be minor and can usually be repaired within a few days.

Table 4 shows 380 kV fault statistics for Nordic countries.

Table 4: 380 kV OHL fault statistics for Nordic countries

Country	Lines (km) in 2016	Number of faults in 2016	Number of faults per 100 km	
			2016	1996-2016
Denmark	1419	2	0.14	0.32
Finland	6086	7	0.12	0.25
Norway	3266	30	0.92	1.14
Sweden	10564	25	0.24	0.36

Source: ENTSO-E Nordic Grid Statistics 2016

Most overhead line faults are temporary. Typically less than 10% are categorised as ‘permanent’ and require immediate intervention to carry out repairs.

Due to the low electrical impact on the system, overhead line can be energised from a relatively weak system and provide feed into previously dead systems such as in a black start scenario.

5.3.6 Operation and maintenance

Planned maintenance activities of overhead lines include route patrols and inspection, vegetation management, tower painting, and other work needed to retain the serviceability of the overhead line.

Many maintenance inspections can be carried out without taking an outage, using helicopter inspection or remote inspection techniques using drones. These inspections are carried out every year or two depending on the owner’s policy.

Climbing inspections of overhead line towers are generally possible without an outage, provided the safety clearances to the live conductors are maintained.

When it comes to accessing the insulators or the conductor to carry out repairs, an outage is usually required. Some utilities adopt live line working using ‘hot stick’ or ‘bare hand’ methods to carry out repairs to insulators and conductors without an outage. This requires specialist equipment and training.

5.4 Overhead line environmental impact

Overhead lines are large linear developments that affect visual and other environmental aspects of the landscape they cross to varying degrees.

Routeing of new overhead lines needs to follow defined guidelines and rules to minimise the effect on the environment and includes consultation with stakeholders. The routeing of overhead lines is a complex process. A balance is required between statutory obligations, engineering requirements, economic viability, land use and the environment.

Overhead lines may not be suitable for some urban regions or areas of high environmental sensitivity. Underground cables are an alternative in some cases.

5.4.1 Land use

Overhead line routes may be required to cross agricultural, urban, industrial or environmentally sensitive areas.

Overhead lines do not prevent normal operations on agricultural land, however precautions may need to be taken with the use of some types of farming machinery.

The use of overhead lines in urban areas will lead to restrictions on future land use.

In industrial areas, overhead lines would not normally impose any significant land use issues.

Route planners must identify environmentally sensitive areas so that overhead lines can be routed away from these areas where possible.

5.4.2 Ecology

Ecological concerns include vegetation clearance and ground excavation works during construction, and bird mortality due to collision during operation.

Vegetation clearance includes the removal of trees and plants from the overhead line corridor and access roads. Clearing of line corridors should be done with special care to minimise damage to the original natural landscape and to allow the natural habitat under and around the lines to flourish. Ongoing vegetation management is required during operation.

Excavation works are required for construction of access tracks and foundations.

The use of bird flight diverters attached to conductors is effective in reducing the number of collisions.

5.4.3 Audible noise

Overhead lines are designed to minimise audible noise caused by electrical discharge and wind generated sound. Electrical discharge results in a crackle and low frequency hum and increases in some wet weather conditions.

5.4.4 Electric and magnetic fields

We are exposed to electric and magnetic fields wherever we live. Natural electric and magnetic fields include the earth's geomagnetic field and electric fields from storm clouds. Other sources include radio waves, TV signals and visible light.

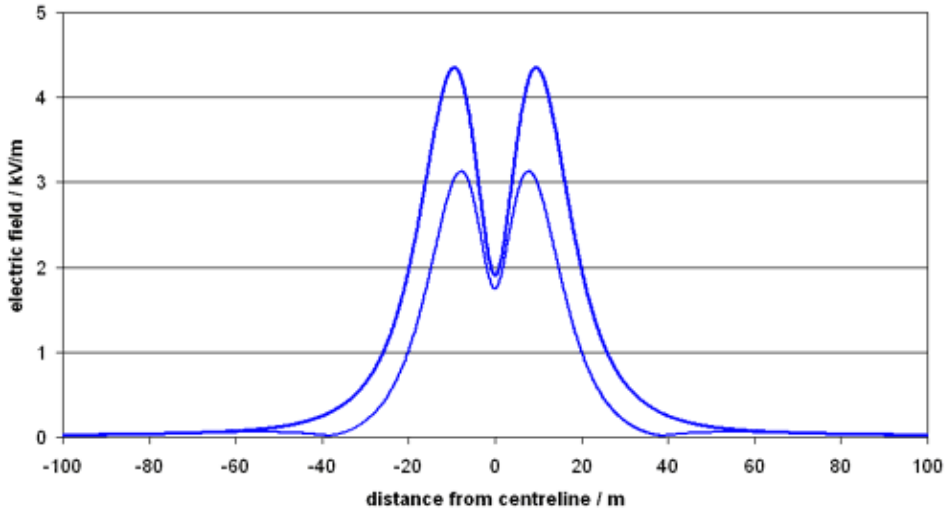
When electricity flows, both electric and magnetic fields are produced. The magnitude of the fields depends on a number of factors including the voltage, current, geometry and configuration of the line.

Overhead lines are a source of two fields – the electric field produced by the voltage and the magnetic field produced by the current.

The electric and magnetic fields from overhead lines and underground cables must comply with relevant exposure limits.

Figure 7 shows typical electric fields for two types of 380 kV vertical tower type overhead lines with transposed phasing

Figure 7: Typical electric fields for two 380 kV overhead line installations

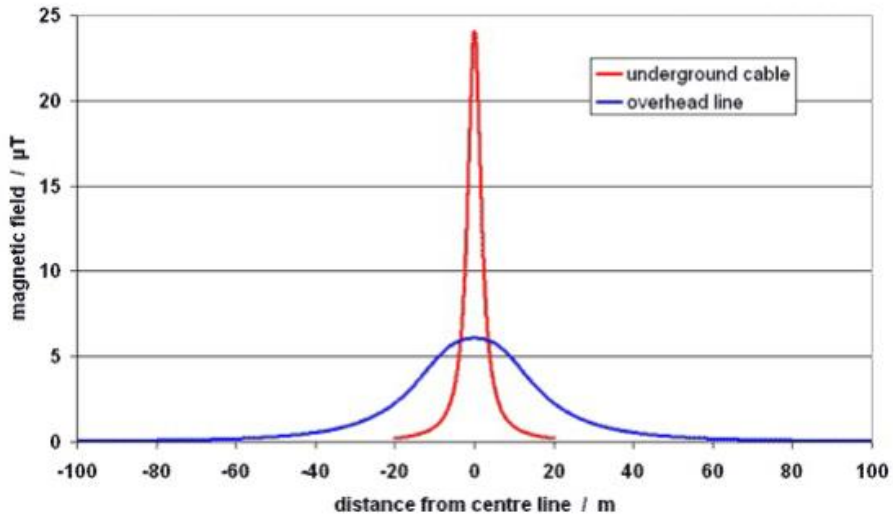


Source: http://www.emfs.info/

A metal sheath around underground cables eliminates the electric field, but cables still produce magnetic fields.

Figure 8 shows magnetic field against distance from equivalent overhead and underground circuits for a particular case.

Figure 8: Typical magnetic fields for a particular overhead line and the equivalent underground cable



Source: http://www.emfs.info/

As the source of a magnetic field is approached the field gets higher. Cables are typically installed 1 m below ground, whereas the conductors of a 380 kV overhead line are typically more than 10 m above ground. This means that the magnetic field directly above a cable is usually higher than that which is directly below the equivalent overhead line.

As individual cables can be installed much closer together than the conductors of an overhead line, the result is that the magnetic field from cables falls more quickly with distance than the magnetic field from overhead lines.

Overall, directly above the cable and for a small distance to the sides of the cable, the magnetic field is larger. At larger distances to the sides, the cable produces a lower field than the overhead line.

5.5 Overhead line planning, permitting and construction programme

A typical overhead line development, from concept to completion, takes several years. The development is an iterative process which has to consider both public amenity and engineering feasibility.

To develop a new power corridor, constraints are mapped between the start and end points and a preliminary route and design is identified. Stakeholders including land owners and the general public are then consulted which often leads to the modification of preliminary routes and changes to the design.

New overhead lines may face opposition from the public due to the visual impact of the line and other environmental concerns. It is likely that this opposition may add time to the planning and permitting process.

The environmental permitting process requires selection of the type of tower to be employed. Use of a new tower design may add time to the process. The use of an existing design of overhead line may therefore offer benefit to the overall programme.

Consent and land rights must be granted by land owners for equipment to be located within their land and for access for maintenance. Access is required periodically to each tower position to maintain the conductor and insulation systems, as well as the tower structure. Generally this access can be planned, however in some circumstances emergency intervention may be necessary to carry out repairs. Between towers, depending on the land use, periodic access may be required for tree cutting. Tree growth can lead to electrical clearances from the line conductors being compromised with the consequent risk of line failure, thus in forested areas regular tree felling must be carried out so as to maintain a clear corridor.

Fewer, taller towers can be used to increase the span length and thus reduce the disturbance to landowners. However, these structures must be designed to withstand the resulting additional conductor loads and are generally of heavier construction than a typical tower and, due to the additional height and strength, can be more visually intrusive. Planning authorities generally prefer lower structures whilst landowners generally prefer longer spans. The final design will always be a compromise.

5.6 Overhead line whole life cost

Many factors affect the cost of an overhead line, including its capacity and length, the tower design, the terrain and ground conditions along the route.

It is estimated that material costs represent approximately 65% of total line cost.

Overall construction costs include:

- Site mobilisation
- Foundations
- Tower materials
- Conductors, earth wires and communications
- Insulators and fittings
- Erection of towers and stringing
- Access roads
- Engineering and safety (including construction wayleaving and access permissions, site-based engineering, management, safety arrangements to protect contractors and the public)
- Project launch and management (early designs, application for consent, project management)

Operating costs include:

- Electrical losses in the conductor
- Operation and maintenance activities

A 2012 costing study[1] commissioned by the UK government calculated a whole life cost of 4.9 million EUR[2] per km for a 380 kV overhead line of the capacity and length required by the Future Grid 2030 project.

[1] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[2] 4.0 million GBP converted to EUR using 2012 exchange rate of 1.233 EUR/GBP

Unit cost information produced by National Grid[3] in 2015 gives a cost of 2.7-3.5 million EUR[4] per km. This value does not include the cost of electrical losses and operation and maintenance activities.

5.7 Overhead line summary

High voltage overhead line technology provides a robust and cost-effective solution for transmission of large volumes of electricity over long distances.

An overhead line has a high level of availability and most faults can be located and repaired easily and quickly.

Overhead lines are a flexible technology that can be routed and constructed across a wide range of geophysical and topographical environments. They have a relatively low physical impact on the land.

Overhead lines may not be suitable for some urban regions or areas of high environmental sensitivity.

The main risks associated with an overhead line connection usually occur at the design stage where prudent design is required to ensure that the overhead line meets the expected reliability and performance requirements during its operational life. These include areas such as lightning performance, constructability, operability and maintainability.

Prior to and during construction, route access, ground conditions and the environmental risks are also major considerations.

During the lifetime of the overhead line it will experience faults due to the environment, third parties and wear and tear. Robust maintenance and inspection procedures minimise this risk. Catastrophic failures of overhead transmission lines can occur, but these are rare.

[3] Electricity Ten Year Statement, National Grid, 2015

[4] 2.0-2.6 million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

6 AC Underground Cable

Underground cables play an important role in transmission grids by providing an alternative solution to overhead lines for transmitting electricity where overhead line cannot be used. Underground cables are most often installed in urban or environmentally sensitive areas.

As stated in section 5 of the report, 380 kV is considered the most appropriate AC operating voltage for the Future Grid 2030 power corridor to meet the required power transmission capacity.

380 kV underground cables make up less than 2% of the 380 kV AC land transmission systems in western Europe, with over 98% using overhead lines.

Table 5: 380 kV AC overhead and underground circuit lengths* in Western Europe

Country	Overhead Line (km)	Underground Cable (km)	% Cable
Belgium**	1,490	40	2.61%
Denmark	1,508	371	19.7%
Finland	4,331	0	0.00%
France	21,364	3	0.01%
Germany	20,307	70	0.34%
Ireland	439	0	0.00%
Italy	10,327	466	4.32%
Netherlands	2,091	30	1.41%
Norway	8,355	442	4.80%
Portugal	2,236	0	0.00%
Spain	19,622	55	0.28%
Sweden	10,708	8	0.07%
Switzerland	1,788	8	0.45%
UK	11,979	229	1.86%

Source: ENTSO-E Statistical Yearbook 2011

* ENTSO-E defines the above as “Lengths of circuits in km”.
** Updated to include Brabo and Stevin projects which were commissioned after 2011.

6.1 380 kV underground cable installation

To transmit 2 x 3 GW for a distance of 50-100 km via 380 kV underground cable would require two circuits, each with three cables per phase, or 18 cables in total.

Various installation methods may be employed along the cable route. The installation methods would be determined following route selection and identification of obstructions. Most of the route is likely to be direct buried. Other installations may include surface troughs, ducts, horizontal directional drilling and deep bore or ‘cut and cover’ tunnels.

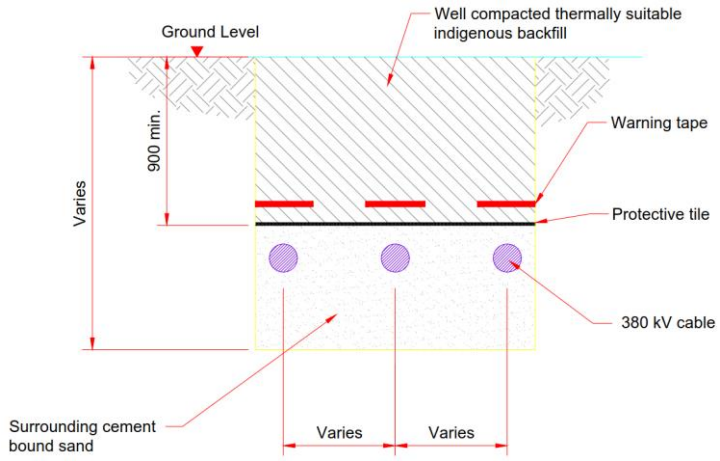
Typical installation and construction details for a 2 x 3 GW 380 kV direct buried underground cable development are given below.

Groups of three cables (one per phase) are laid in trenches excavated in the ground and surrounded with sand (or a sand/cement mixture) to improve heat transfer. Protection covers

are placed above the cables and the trench is filled with excavated material, ensuring that topsoil is reinstated in the top layer.

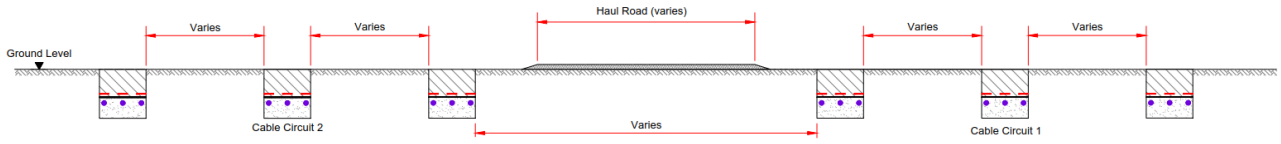
Communication cables are installed in the same trench as the power cables.

Figure 9: Indicative direct burial open trench arrangement



The installation would require six trenches to be excavated, three either side of a central road. A dedicated road is required to carry materials to and from site and to haul the cables.

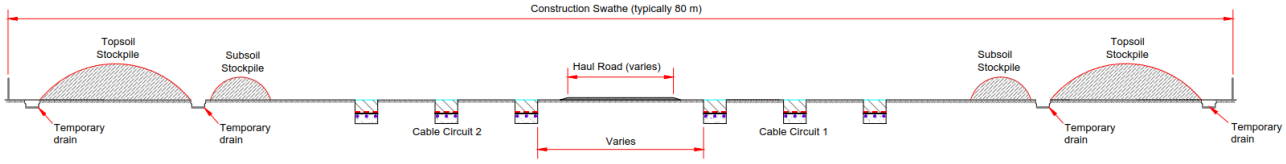
Figure 10: Indicative 2 x 3 GW 380 kV direct buried installation



Provision for construction activities further increases the corridor width. Sufficient space must be provided for the operation of excavation plant. Space for temporary placing of excavated material must be provided along the full length of the route.

For the period of construction activity this would result in a total corridor width of up to 80 m, with the completed installation width in the region of 30 m.

Figure 11: Indicative construction swathe



6.2 Underground cable safety

The main safety risk associated with buried cables is accidental contact by a third party, typically a contractor carrying out excavation works.

Cables are installed at varying depths depending on the land use and terrain. For example, cables installed in agricultural land are typically buried at 0.9 m depth to allow for the use of farm machinery above.

This risk of accidental contact is reduced by ensuring the position of the cable route is marked with warning tape and is recorded on record drawings. Tiles are installed above the cable to provide mechanical protection. The warning tapes and protective cover tiles act as a caution notice during excavations

The installation of underground cables requires the removal of large volumes of material which requires mechanical excavation. Excavations must be designed and managed carefully to ensure the safety of all personnel.

6.3 Underground cable technical performance

6.3.1 Maturity of technology

Modern underground cables use a high-performance insulating material called cross-linked polyethylene (XLPE).

XLPE cable technology has been used since the late 1990s so is a fairly mature technology with around 20 years of data.

6.3.2 Electrical effect on the grid

As a result of the extra insulation around a cable, AC cables hold and store some of the energy they carry. The longer the cable is, the more energy it holds. This effect is known as ‘capacitance’. Both overhead line and underground cable adds capacitance to the grid; however, due to the physical construction and installation of a cable the effect is much greater in underground cable systems.

Cable capacitance results in a constant flow of charging current proportional to the length of the cable and the voltage of the system. The ability of the cable circuit to transmit useful power is restricted due to capacity being used by the charging current and this charging current can also cause undesirable voltage changes on the transmission grid. The energy stored is proportional to the square of the operating voltage, therefore the impact of these currents is far more significant for 380kV cables than at lower voltages.

Due to these effects, long lengths of underground cable can cause technical issues and there are limitations on the maximum length of cable that can be practically installed in a transmission grid. The maximum length is dependent on the specific network and cable system parameters and will vary for each particular case.

When considering long underground cable systems, the following technical performance issues need to be considered at an early stage of planning and design.

6.3.2.1 Future upgrade of capacity

Increasing the capacity of an underground cable circuit is costly as it requires the installation of additional cables in the ground as well as the associated civil works. In comparison, for the

upgrade of an overhead line, a conductor can be replaced with a larger size or different formation allowing the line to be in some cases reconfigured relatively easily.

6.3.2.2 Balancing of power flow

Underground cable circuits tend to carry a greater proportion of the power flow than a parallel overhead line. Additional equipment may need to be installed to control the imbalance. Special equipment such as reactors or phase shifting transformers can be used to manage the power flow through the parallel circuits.

6.3.2.3 System fault level

Installation of underground cable circuits may result in an increase in the transmission grid energy level, or fault level. When this happens, equipment on the grid may face energy levels beyond its safety threshold. This may require the installation of additional equipment to limit the energy level or the replacement of existing equipment affected by the change.

6.3.2.4 Reactive power compensation

As previously discussed, underground cable circuits have higher capacitance than equivalent overhead line circuits. To balance this effect, and to preserve the useful power capacity of the circuit, special equipment known as reactive compensation is sometimes required.

The requirement for reactive compensation is dependent on the electrical characteristics of the installation and the system into which it is being installed.

6.3.2.5 Voltage profile and temporary overvoltages

Reactive power generated by a cable system affects the voltage profile along it. Switching long cable circuits on and off can cause significant step changes in voltage. These step changes must be limited to reduce the disturbance to consumers. Reactive compensation is sometimes required to maintain the voltage within limits.

6.3.2.6 Harmonic distortion

An increase in the proportion of underground cable in a grid increases the risk of a power quality issue known as harmonic distortion. The resulting distortion of power may affect the quality of supply to customers.

The risk associated with this power quality issue is difficult to quantify. The level of distortion is difficult to study because it requires detailed information of the existing transmission grid and requires prediction of future network developments which may exacerbate the distortion effect.

Special equipment known as harmonic filters may be required to reduce the levels of distortion.

6.3.2.7 Switching of circuits

Capacitive charging currents which flow in cable circuits impose an onerous condition on circuit breakers which are used to switch the circuit on and off.

Care must be taken to ensure that the cable system does not cause conditions which exceed the rating of the circuit breakers and associated equipment.

6.3.2.8 Black start

Consideration must be given to the potential requirement to energise a relatively weak system via a long cable circuit, such as in a black start scenario. Due to the electrical impact of the

cable on the transmission system this is likely to lead to a temporary overvoltage outside the allowable limits.

6.3.3 System complexity

The complexity of the cable system is largely dependent on the requirement for corrective equipment such as reactive compensation and harmonic filters, and the extent to which either is required.

Corrective equipment may not be required for short lengths of cable, or where cable is installed in very strong systems.

Where reactive compensation and/or filters are required, the most straightforward solution is to install the equipment at the substations at each end of the circuit.

For longer circuits the equipment may be required at the midpoints of the circuit, or at several locations along the route. Special compounds would be required to house the equipment.

For very long cable circuits, where large-scale midpoint compensation and filtering is required, the complexity of the system is significantly increased. Special control systems may also be required to control the equipment operation based on the real time status of the grid.

6.3.4 Provision of future connections

As with AC overhead lines, it is straightforward to provide future connections to an existing AC underground cable via standard connection arrangements.

6.3.5 Availability & reliability

In general, XLPE cable circuits are reliable and have a low rate of unplanned faults. However, there may be occasions where a circuit fails and requires repair. Cable fault repairs require the damage to be located, the faulted portion of the cable to be removed and a replacement section to be added (requiring new joints to be made). For 380 kV cable systems, repairs can be a costly and time-consuming exercise and can have a significant effect on circuit availability.

There are two main causes of cable faults:

- Failure of a component within the insulation system due to a manufacturing or installation defect
- Damage by a third party, typically a contractor carrying out excavation works in connection with another project

Cables can also be damaged by sustained electrical overloading, although cases occur infrequently.

The risk of these events occurring is not easy to control and the resilience of the transmission network can be affected.

Repairs to cable require excavations and clean and dry conditions for jointing. Wet weather may restrict access to the cable and affect cable repair times.

Operational performance data for installed cable systems is not widely available. Cable system failure statistics published were by CIGRE in 2009 and were updated by JICABLE in 2011 for 380 kV systems.

Table 6: Failure rates of cables and accessories

	CIGRE failure rate[5]	JICABLE Minimum failure rate[6]	JICABLE Maximum failure rate[2]
	Per 100 accessory years or 100 circuit km years	Per 100 accessory years or 100 circuit km years	Per 100 accessory years or 100 circuit km years
Cable	0.133	0.079	0.120
Joint	0.026	0.016	0.035
Termination	0.032	0.092	0.168

These figures are significantly lower than would be expected for a comparable overhead line, i.e. cables are less likely to suffer a failure. However, cable faults are rarely temporary and it takes longer to locate and repair a fault in an underground cable than in an overhead line. Repair duration for an on-land 380 kV cable is likely to be in the between two weeks and one month depending on the location of the fault.

A further point to note is that fault rates are expressed as per 100 accessory years or per 100 circuit km years, thus where a cable system requires multiple cores per phase the failure rates must be adjusted accordingly. For example, if a circuit is installed with three conductors per phase then the route km must be multiplied by three to obtain the appropriate circuit km figure. Similarly, the number of joints and terminations to be considered must also be multiplied by three to establish the failure rate to be considered.

6.3.6 Operation & maintenance

Planned maintenance of an underground cable route includes management of vegetation along the route and inspection and testing of cable system components.

6.4 Underground cable environmental impact

The installation of transmission cables has a significantly reduced visual impact when compared to overhead lines; however, underground cables have their own environmental and landscape considerations.

6.4.1 Land use

Where land is used for agricultural purposes, or open heathland and moorland habitats, there is not likely to be any significant restriction once restoration is complete.

The use of native backfill material allows shallow rooted vegetation to be re-established over the route and, in some cases, for land to be fully returned to its original condition and use.

The planting of trees above underground cables is not permitted due to the potential for deep root systems to cause cable damage.

Construction of buildings is not permitted above underground cables.

6.4.2 Ecology

As described in section 6.1, provision for construction activities can result in a corridor width of up to 80 m.

[5] Update of service experience of HV underground and submarine cable systems, TB 379, Working Group B1.10, CIGRE 2009

[6] Return of experience of 380kV XLPE landcable failures, paper A.3.7, JICABLE, 2011

As with overhead line construction, ecological concerns include vegetation clearance and ground excavation works during construction. Cable installation works can cause significant effects on the landscape resulting from the felling of trees, hedges, areas of woodland and other vegetation along the route. The disruption of habitat is more intensive for underground cable installations than for overhead lines.

During construction, large quantities of earth and soils are removed to facilitate burial of the underground cables. This can be many times the quantity removed for an equivalent overhead line.

6.4.3 Electric and magnetic fields

See section 5.4.4 of the report for a consideration of electric and magnetic fields of AC overhead lines and underground cables.

6.5 Underground cable planning, permitting and construction programme

The duration of a typical underground cable development is similar to an overhead line development and takes several years.

Underground cable developments are likely to face less opposition from the public. However, gaining land owner consent and land rights may be more onerous than for an equivalent overhead line due to the more extensive vegetation clearance and ground excavation works which are required along the full length of the cable route during construction. In comparison, access is required predominantly at tower locations for an overhead line. Furthermore, it may not be straightforward to amend the routing of a cable to accommodate landowner preferences, thus potentially making agreement more difficult.

Due to the electrical effects of installing long lengths of 380 kV cable (outlined in section 6.3.2) it is likely that extensive studies and simulations would be required to confirm the feasibility or otherwise of a cable installation, and to carry out a detailed engineering design. This process would need to be completed before the commencement of the permitting process and would add time to the pre-contract engineering programme.

Undergrounding of the Elia power corridor would require 18 km of single phase 380 kV underground cable per km of route. Procurement of the quantity of cable required for undergrounding a significant length of the route would therefore present a significant risk. Securing the services of the number of skilled cable jointing technicians required to install a significant length of underground cable would also present a risk to the project.

6.6 Underground cable whole life cost

The cost of operation, maintenance and power losses over the lifetime of an AC transmission circuit is broadly the same for overhead lines and underground cables.

Underground cables are always significantly more expensive to construct when compared to equivalent overhead lines.

The major elements of this cost differential are due to the relatively higher cost of the cable itself and the cost of the civil works required to install the cables in the ground.

Many factors affect the cost of an underground cable installation, including the capacity and length of the circuit, the terrain, land use and ground conditions along the route and natural and man-made obstructions.

Overall construction costs include:

- Cable terminal compounds (supply and erection of a cable sealing end compound at each end of the route)
- Cable terminations and testing (supply, erection and testing of outdoor terminations within the compounds at either end of the route)
- Cable system materials (all cables, joints, earthing and bonding equipment)
- Cable installation
- Reactive compensation
- Harmonic filters
- Project launch and management (routing surveys, soil samples, predesign/route feasibility, publicity, notifications, stakeholder consultation, land access and easement purchasing negotiations, on site supervision, site engineers)

Operating costs include:

- Electrical losses in the conductor
- Operation and maintenance activities

A 2012 costing study[7] commissioned by the UK government calculated a lifetime cost of 25.1 million EUR[8] per km for a 380 kV underground cable of the capacity and length required by the Future Grid 2030 project. This is approximately five times the cost of an equivalent overhead line.

Unit cost information produced by National Grid [9] in 2015 gives a cost per km of 7.3-8.9 million EUR[10] for supply and 4.7-7.7 million EUR[11] for installation, or 12.0-16.6 million EUR per km total. This estimate does not include the cost of electrical losses and operation and maintenance activities or the reactive compensation and harmonic filtering which would be required to install long lengths of underground cable as required by the Future Grid 2030 project, and thus underestimates the total project cost. Based on a dielectric capacitance of 0.23 µF per cable per km, the project would require approximately 67 MVAr of reactive compensation per km for full compensation of the cable capacitance. Assuming a cost of 6 million EUR per 200 MVAr reactor gives an additional cost of close to 2 million EUR per km for reactive compensation. The cost of harmonic filtering would be in addition to this.

6.7 Underground cable summary

Underground cables offer a reduced visual impact when compared to overhead lines and may therefore be suitable for environmentally sensitive areas. In some cases, underground cables are the only feasible solution, for example through urban areas; however, 380 kV cable installation requires a wide corridor and can lead to a significant and permanent effect on the landscape and significant disruption during construction.

There are a number of technical challenges in connecting long lengths of cable in transmission grids. Many of these challenges can be overcome through the installation and control of additional equipment, such as reactive compensation and harmonic filters. The introduction of

[7] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[8] 20.4 million GBP converted to EUR using 2012 exchange rate of 1.233 EUR/GBP

[9] Electricity Ten Year Statement, National Grid, 2015

[10] ((0.896-1.095) x 6) million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

[11] ((0.58-0.95) x 6) million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

this equipment, however, leads to increased system complexity, risk of reduced availability and increased cost.

The increase of harmonic distortion resulting from the installation of cable is difficult to quantify and therefore presents a significant risk.

Procurement of the quantity of cable and skilled cable jointing resource required for undergrounding an extensive proportion of the route would present a significant risk.

An underground cable solution would be significantly more expensive than an equivalent overhead line.

Undergrounding of the full length of the Stevin-Avelgem and Avelgem-Centre corridors is therefore not considered a feasible solution.

7 Partially Undergrounded AC Overhead Line

As discussed in section 6, there are a number of technical performance, programme, procurement and resource issues associated with very long 380 kV underground cable systems. Total undergrounding of the Stevin-Avelgem and Avelgem-Centre corridors is therefore not considered a feasible solution.

The term partial undergrounding refers to an overhead line circuit where a short section or sections are undergrounded. Partial undergrounding is technically feasible and could be considered in specific areas that would be significantly affected by construction of an overhead line.

Refer to sections 5 and 6 for discussion of overhead line and underground cable safety, technical performance, environmental impact, planning, permitting and construction programme, and whole life cost which would apply to a partially undergrounded solution.

Determination of the maximum length of underground cable that would be technically feasible requires studies and simulations. It is therefore not possible to state the maximum allowable length of partial undergrounding at this stage. A recent international study[12] considering a specific case in the Danish transmission grid concluded that the maximum length of 380 kV underground cable in the overhead line circuit must not exceed 15% of the total circuit length. The Danish cable design was for two cables per phase and was therefore less onerous than the Future Grid 2030 project in that respect. As stated in section 6.3.2, the maximum length for a particular case will vary based on the specific network and cable system parameters.

Gas insulated line is discussed in section 8.1. While experience of gas insulated line over long distances is not available, the use of gas insulated line for undergrounding short sections of a partially undergrounded solution (particularly where one end is terminated in a substation) would be technically feasible and could be considered.

Where overhead line transitions to cable, the overhead line is terminated at each end of the underground cable section. A large compound is required to accommodate the cable terminals together with other equipment required to facilitate the connection between the overhead and underground systems. A typical 380 kV cable terminal compound is 45 m x 65 m.

[12] Technical Issues Related to New Transmission Lines in Denmark, Energinet, Doc. 18/04246-24

8 Alternative Underground Technologies

8.1 Gas insulated line

In some cases, gas insulated line represents a viable alternative to overhead lines and underground cables. Most applications of gas insulated line have been over short distances and are installed above ground in areas with no public access such as power plants or substations.

Gas insulated lines can be installed above ground, buried below ground or installed in trench or tunnel installations and are thus an alternative to conventional cables. In comparison with cables, they offer the following advantages:

- Lower electrical losses
- Higher power ratings per 'cable', potentially reducing the width of the power corridor.
- Energy storage in the internal capacitance is much lower than an equivalent cable, thus much longer lengths can be applied before system technical limits are exceeded (also helped by the reduced number of 'cables' required).
- Risk of harmonic amplification are significantly reduced.

However, there are no gas insulated line projects with significant route lengths in service or under construction, with a maximum installed route length of approximately 3.25 km (the Japanese Shinmeika – Tokai project).

The most extensive installation of buried gas insulated line is a 380 kV installation at Frankfurt Airport in Germany which comprises two circuits, each with a route length of 900 m and a power rating of 1800 MVA.

Although technically capable of providing a transmission capacity of 3GW per circuit, experience of gas insulated line over long distances is not available. As such, a 100 km route length may face previously un-encountered technical and construction challenges. The technology is therefore not considered sufficiently mature to be deployed as part of a critical grid reinforcement project and therefore long-distance gas insulated is not considered further in this report.

The use of gas insulated line for undergrounding short sections of a partially undergrounded solution would be technically feasible and could be considered.

The 2012 costing study[13] commissioned by the UK government calculated a lifetime cost of approximately 20.0 million EUR[14] per km for short lengths of direct buried gas insulated line, although this estimate is for a smaller capacity than is required for the Future Grid 2030 project.

8.2 Superconducting cable

The resistance to the flow of electricity in a conductor increases with temperature. If a conductor is cooled the resistance falls. If a copper conductor is cooled to near absolute zero (-273 ºC), the electrical resistance falls close to zero. This means that high currents can flow without generating any significant electrical resistive losses, and the requirement to

[13] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[14] 16.2 million GBP converted to EUR using 2012 exchange rate of 1.233 EUR/GBP

dissipate the heat generated by these losses is virtually eliminated. This condition of virtually lossless transmission is generally described as 'superconductivity'.

It is not practical to maintain the temperature of a cable close to absolute zero, and for many years researchers have been developing high-temperature superconducting materials that can provide very low levels of resistance at viable temperatures. The construction of a superconducting cable is similar to that of a conventional cable, but copper or aluminium wires are replaced by tapes manufactured from these high-temperature superconductor materials for the current transport. The superconducting tapes consist of a metallic substrate and an oxide ceramic material which displays virtually perfect electricity conducting properties if cooled to temperatures below -180 °C. A superconducting tape of this kind can transmit current densities that more than a hundred times exceed the current carrying capacity of a copper conductor of the same cross section. The conductors are sheathed with low temperature proof high voltage insulation and surrounded by a superconducting screen which provides electromagnetic shielding. Liquid nitrogen cools the cable core to its operating temperature of approximately -200 °C.

Maintaining an electrical transmission system at such a low temperature requires special cryogenic plant which is challenging to operate and maintain and would add significantly to the complexity of a cable system.

Advances in the application of high-temperature superconductors to cables has allowed the construction of some short length pilot projects. One of the most significant is the 'AmpaCity' project in Essen, which provides a 1 km cable system rated to carry 40 MVA (2310 A) at 10 kV. These pilots fall far short of the circuit length & power capacity required for the Elia future grid project.

Whilst superconducting technology is still in development and, although there are a number of small-scale trials in distribution networks, it is still some way from implementation in an operational transmission grid. The technology is therefore not considered further in the report.

9 HVDC as an alternative to HVAC

The existing grid in Belgium is a high voltage alternating current (HVAC) system. Any new transmission project utilising HVAC would therefore be an extension of the existing technology.

HVDC offers technical advantages when compared to HVAC for the following cases:

1. Transmission between power systems which are not synchronised
2. Very long distances high power transmission
3. Use of subsea cables, or facilitation of the undergrounding of a transmission circuit
4. Where complete and variable control of power flow is required, i.e. for interconnection between grids

9.1 HVDC configuration

In general, the converter used for HVDC transmission can be classified as current source or voltage source.

The most recent regulations covering new HVDC systems in Europe demand smooth voltage control. Consequently, all new HVDC interconnectors in Europe are expected to be voltage source converter (VSC) type. Only VSC technology will be considered in the report.

In the context of the Future Grid 2030 project, the use of HVDC would only be considered to facilitate undergrounding the full length of the power corridor. Hence only HVDC underground cable will be considered.

HVDC systems can be configured in three ways:

- Point-to-point configuration
- Back-to-back configuration
- Multi-terminal configuration

9.1.1.1 Point-to-point configuration

Most HVDC systems are point-to-point configuration. Power is transmitted between two points in a HVAC grid. Almost all installed HVDC interconnectors have only two terminals.

9.1.1.2 Back-to-back configuration

HVDC with back-to-back configuration has two converters located at the same site in a single building and there is no overhead DC line or underground DC cable. Back-to back schemes are generally used for connection of HVAC systems operating at different frequencies or for connecting unsynchronised systems. This configuration is not suitable for the proposed power corridor and is not considered further in the report.

9.1.1.3 Multi-terminal configuration

HVDC with multi-terminal configuration has more than two terminals.

9.2 HVDC topology

HVDC topologies include:

- Monopolar
- Bipolar
- Symmetrical monopolar

Most installed VSC HVDC systems around the world are symmetrical monopolar. This topology is designed to operate with a total transmission voltage double the line-earth voltage rating of the lines or cables. For example, for a line-earth capability of 500 kV the transmission voltage is 1000 kV since one line is operated at +500 kV and the other at -500 kV.

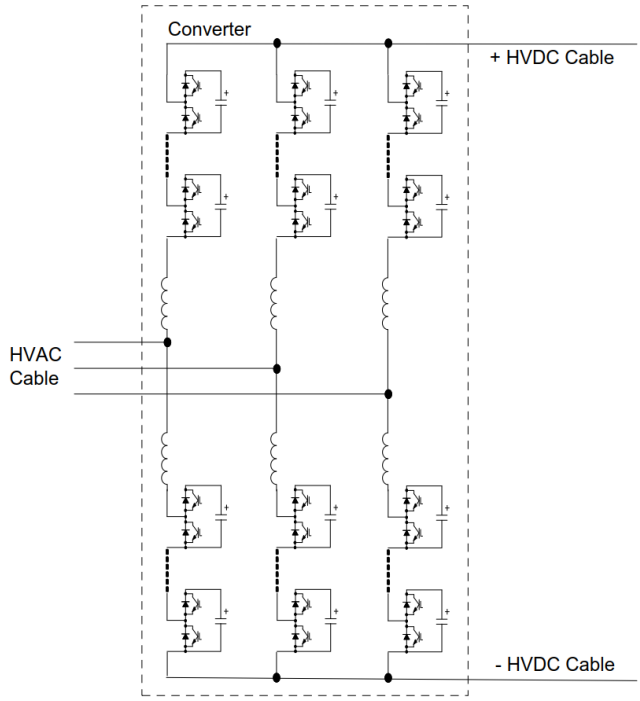
A monopolar topology only operates with one line at high voltage (the return line is at earth potential). Thus for a line-earth capability of 500 kV, the transmission voltage is limited to 500 kV. In some circumstances it is possible to construct monopolar links using the ground or sea as the return conductor; there are a number of technical limitations associated with links of this type and they are not considered suitable for application in developed areas.

A bipolar topology adds some additional technical complexity (in comparison with a symmetrical monopolar design) but provide a level of redundancy in the event of equipment failure. In view of the power ratings required for the Elia future power grid, the benefits of this additional redundancy may not justify the greater technical complexity.

Only symmetrical monopolar topology will be discussed in the report (although adoption of a bipolar topology would only impact on the converter station design).

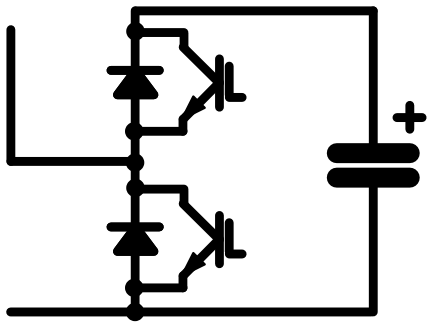
The current generation of high-power VSC converters are based on a multilevel design, as shown in Figure 12.

Figure 12: Symmetrical monopolar VSC modular multilevel converter



Each arm of modular multilevel converter consists of many units (submodules or cells) shown in Figure 13 below:

Figure 13: Modular multilevel converter unit



Each unit can be controlled independently. The DC voltage is selected by controlling the number of units switched into the circuit.

9.3 HVDC installation

To meet the 6 GW capacity required by the Future Grid 2030 power corridor the highest available proven DC voltage is likely to be selected. Today there are two HVDC links rated at 500 kV under construction with others being considered. It is likely that this technology will be proven in time for consideration for the Future Grid 2030 project.

The largest power rating of a single symmetrical monopole in service is 1 GW but higher ratings are under construction. Two 500 kV schemes under construction are rated at 1400 MW and expected to go into service in the next year or so. This maximum power limit is determined by the maximum permitted single circuit failure in Scandinavia, not by the HVDC technology. Suppliers are currently quoting single interconnector ratings of up to 2 GW.

The Future Grid 2030 project requires an overall redundancy in connections so that at least 3 GW can be achieved with one HVDC link out of service.

The 6 GW capacity can therefore be achieved by either 4 x 1.5 GW or 3 x 2 GW links operating at 500 kV DC.

It has been reported that VSC Converters with a capacity of up to 5 GW at 800 kV (equivalent to 3 GW at 500 kV) are under construction in China. These higher ratings have been discounted due to the limited range of Suppliers able to achieve this capacity.

9.3.1 HVDC converter station

The design of an HVDC converter station is project specific and is determined by individual scheme requirements.

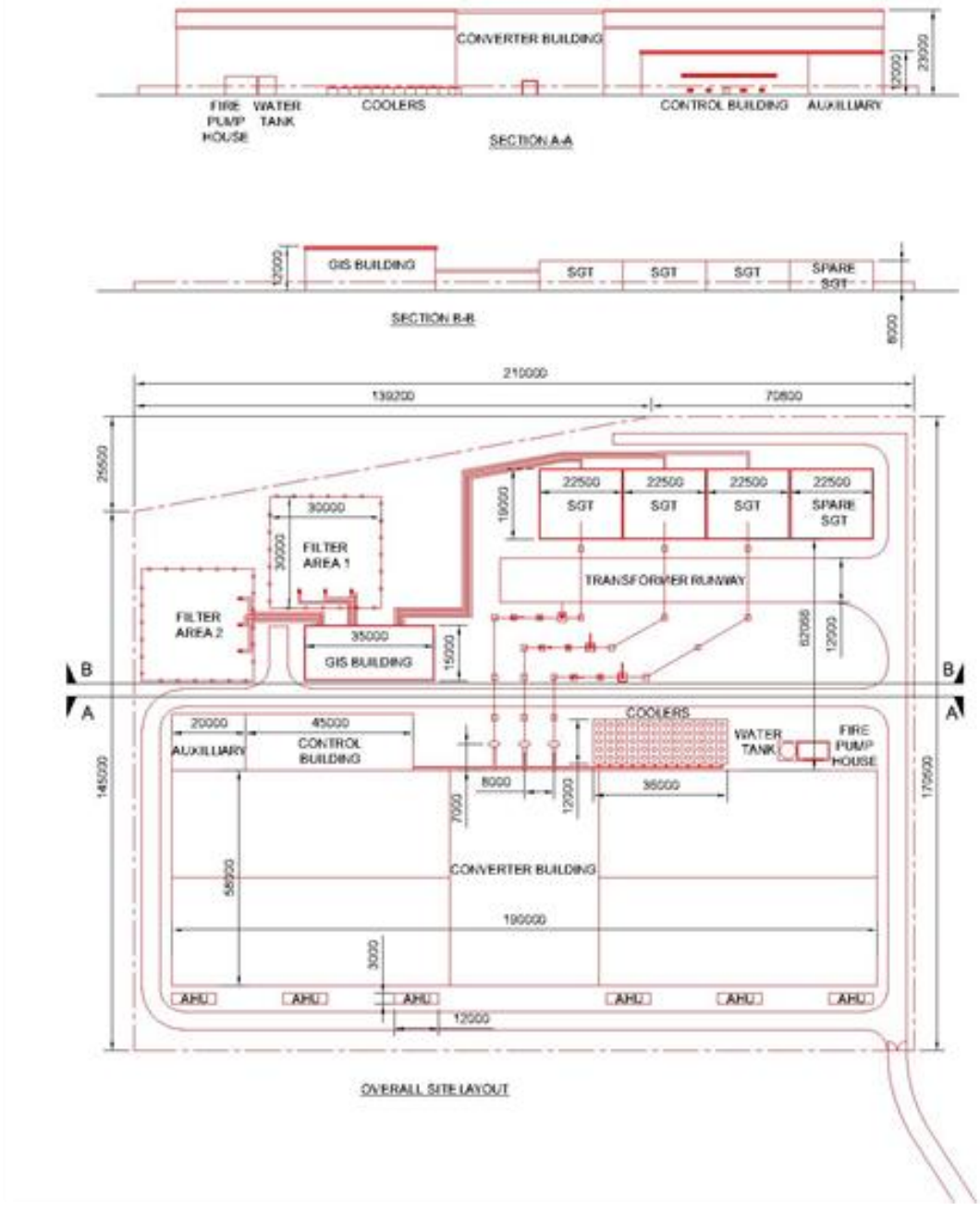
There are several suppliers of VSC HVDC systems each with their own converter station designs but each design is based on the same fundamental principles.

The DC operational voltage is the dominant factor in determining the converter station size and cost. All electrical equipment with exposed live parts require a safe distance to other objects. The distance increases with voltage and can be several metres, hence the higher the voltage the larger the footprint. The converter valves are constructed of modules each with a maximum

voltage rating; the higher the total voltage, the more modules are required. Modules are stacked vertically so the height also increases with voltage.

A single 500 kV DC converter station would be approximately 210 m by 175 m. Buildings would cover approximately 50% of the land with a maximum height of approximately 23 m. These dimensions would vary based on land and access issues and supplier variations.

Figure 14: Indicative 500 kV HVDC converter station layout



The main components are introduced below.

9.3.1.1 AC switchgear and converter transformer area

AC switchgear and converter transformers control and transform the AC power.

AC switchgear may be air or gas insulated. Air insulated switchgear is cheaper but requires a larger area. Gas insulated switchgear is more compact, so the footprint of the converter station is reduced.

As gas insulated switchgear is more expensive it is largely used in projects which have a requirement to minimise footprint or reduce visual impact.

9.3.1.2 Filter area

Harmonic filters may be required to reduce harmonic distortion and ensure the HVDC system does not adversely affect other transmission grid users and stakeholders. The requirement for filtering varies. In some cases, where limited filtering is required the equipment may be included within the converter buildings. Larger filters may require large outdoor compounds. The filters are controlled by switchgear, hence increased numbers of filters add to the AC switchgear requirements.

9.3.1.3 Reactor hall

AC reactors are commonly added in series with VSC converter transformer on the converter side. The main function of the reactors is reducing DC energy levels (fault current and peak switching current) in the system. Reactors are usually located indoors adjacent to the converter valve halls. This limits the magnetic field and audible noise impact.

9.3.1.4 Valve hall and DC area

Power electronic converter modules and DC components are in this area. The converter valves are built of many modules connected together which convert AC to DC at the sending end and DC to AC at the receiving end. The number of modules depends on the DC operating voltage plus the number of additional modules required to provide redundancy and hence improved availability and reliability. DC components include reactors, devices for measuring current and voltage used for protection and control, surge arresters which are used to protect the converters from excessive voltage, DC cable terminations and switchgear for isolating and making safe the systems to allow maintenance.

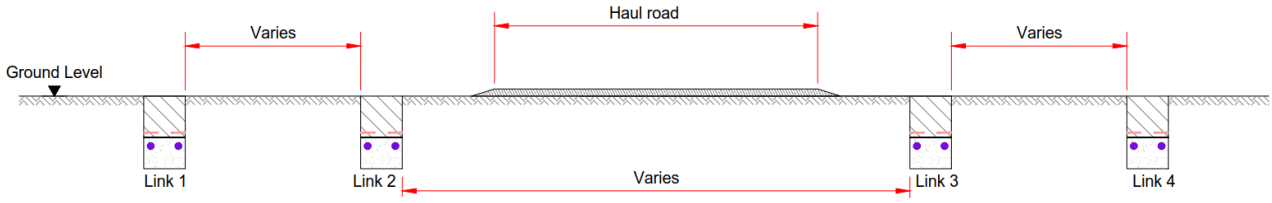
9.3.1.5 Other rooms and buildings

In addition to the major areas described above, a converter station requires several other smaller areas most of which can be included within the large building housing the valve hall. These include rooms for control, protection and communications equipment, a control room for operators, auxiliary supplies including batteries and battery chargers, air conditioning equipment, converter valves cooling plant, fire fighting systems, store rooms and domestic services.

9.3.2 HVDC underground cable installation

To transmit 4 x 1.5 GW via 500 kV DC underground cable would require four HVDC links, each with two cables per link, or 8 cables in total.

Figure 15: Indicative 4 x 1.5 GW 500 kV DC direct buried installation with two cables per link



To transmit 3 x 2 GW via 500 kV DC underground cable would require three HVDC links. Two cables per link could achieve the required rating in a standard direct buried installation but four cables per link may be required depending on the route specifics, including obstructions faced along the route.

Figure 16: Indicative 3 x 2 GW 500 kV DC direct buried installation with two cables per link

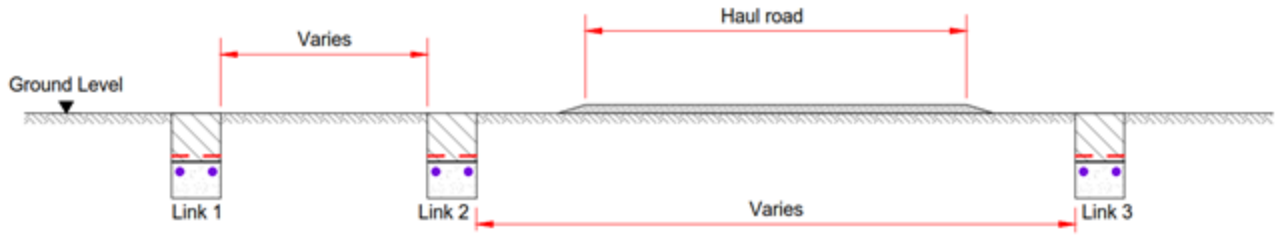
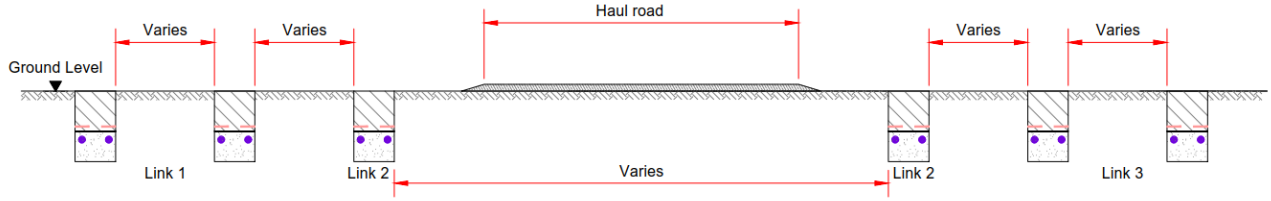


Figure 17: Indicative 3 x 2 GW 500 kV DC direct buried installation with four cables per link



9.4 HVDC safety

HVDC technology can comply with all relevant safety standards. Safety issues in relation to DC overhead and underground installations are similar to the AC equivalents and are discussed in sections 5.2 and 6.2 of the report.

9.5 HVDC technical performance

9.5.1 Maturity of technology

VSC technology has more than 20 years' service history and is therefore considered to be a proven technology. It is noted that the service history does not include experience of 500 kV and 2000 A VSC operation. Based on experience to date there is confidence that planning for operation at this voltage and current rating would not present a significant risk.

9.5.2 Electrical effect on the grid

The maximum length of AC underground cable is limited for the reasons described in section 5.3.2. DC underground cable does not suffer the same technical performance issues as AC cable. Thus, in the context of the Future Grid 2030 project, the use of HVDC would facilitate undergrounding the full length of the power corridor.

However HVDC converters can present other operational problems.

The manner in which power electronic systems interact with the AC transmission network is inherently non-linear, thus converters can generate harmonic distortion. This is a particular issue with thyristor controlled LCC converters which require extensive provision of harmonic filters. On the other hand, modern VSC converters are designed to limit their harmonic contribution and may not require any mitigation measures.

HVDC converters require complex control systems which may interact dynamically with other network equipment. These may represent a performance risk to the system, although these risks can generally be mitigated by carrying out comprehensive electrical studies at the design stage.

In operation, HVDC converters interact with the AC network through software algorithims and thus do not perform in the same way as conventional AC plant which responds to network disturbances in real time by virtue of physical laws. Whilst the controls have been developed to replicate, as far as possible, the desired characteristics of an AC network, they can be considered as adding some degree of fragility to the network performance.

Voltage source converters can operate in weak systems and provide feed into previously dead systems such as in a black start scenario.

9.5.3 System complexity, availability and reliability

Guarantees on reliability and availability are given by suppliers. Owners monitor operations to confirm the guarantees are achieved. Where guarantees are not achieved suppliers are required to improve their systems and pay penalties.

HVDC systems are complex with many sub-systems and components. The greater the complexity and component count, the greater the risk of failure. Operators of transmission grids demand very high reliability. Redundancy is built in to allow the converter station to continue normal operation during and after a fault occurs, thereby providing improved availability and reliability.

Control and protection systems are perhaps the most complex sub-systems within a converter station and are therefore the most likely to develop faults. They too can be duplicated so that in the event of a failure the standby system comes immediately and seamlessly into service. The faulty system can then be repaired, often without need for an outage. They are rigorously factory tested, however, the software in the main and backup systems are identical hence in the event of a software fault both systems would fail at the same time.

VSC converter modules are also complex with a significant component failure rate. Redundancy in the converters is provided via the installation of extra modules so that in the event of failures the overall converters continue to operate until a scheduled outage when the faulty modules can be replaced. These faulty modules can then be repaired ‘off-line’ and retained as spares.

Valve and transformer cooling systems have a risk of failure particularly as they include most of the few moving parts in a converter station. Again, redundancy is built into these systems such as standby pumps and fans. Most failures can be repaired without need for outages.

Auxiliary power supplies are duplicated and taken from more than one source. This may include emergency diesel generators or taking power from the converter transformers, so that loss of the local distribution supplies does not lead to an unplanned outage.

For details of underground cable reliability see section 5.3.5 of the report.

9.5.4 Provision of future connections

To provide future connections to the HVDC link, the original point-to-point scheme would need to be extended to create a multi-terminal scheme. Adopting a multi-terminal HVDC solution increases the technical risk when compared to an AC solution where providing additional connections is routine.

Each terminal of a multi-terminal scheme would require a converter station. This would add significant cost to each new connection.

9.5.5 Operation and maintenance

For the multiple connections required for the Future Grid 2030 Power Corridor it is likely that a single operation centre would be required to be manned 24/7.

Some routine maintenance can be carried out at any convenient time without need for outages whilst other work requires access to areas not possible whilst the interconnector is in service. Maintenance staff are not required to be present at the converter stations 24/7 but, if availability is to be optimised, technicians should be on call to provide technical support to the operating team. These technicians would carry out the routine maintenance during normal office hours. Each of the links would undergo scheduled maintenance when the others are fully available. It is normal to outsource scheduled maintenance activities. Some of this work is specialised but there are also cleaning tasks of lesser skill levels.

HVDC requires greater operational resource than an equivalent AC development due to the relatively higher complexity of the converter stations.

9.6 HVDC environmental impact

As discussed above, the use of HVDC would only be considered to facilitate undergrounding the full length of the power corridor. This may be required for environmental or social reasons. See section 6.4 of the report for discussion on the environmental impact, land, planning, consents and rights issues of underground cables.

An HVDC underground cable installation would result in a narrower corridor, with fewer cables and reduced excavation, hence a lesser environmental impact than an AC cable installation.

HVDC converter stations are significantly larger than conventional AC substations and therefore increase the visual impact of an HVDC solution at the terminal points.

9.7 HVDC planning, permitting and construction programme

Starting at the date when a decision to use HVDC technology is confirmed, a programme to put the scheme into service would include:

- Owners system studies, data collection, preparation and issuing of specifications for converter stations and cables: 1 year
- Supplier bidding, bids review, placement of orders: 1 year
- Supply of first pair of converter stations (2 GW), cables and commissioning: 3-3.5 years
- Supply of each subsequent pair of converter stations 1 year

9.8 HVDC whole life cost

The 6 GW capacity is likely to be provided by either 4 x 1.5 GW or 3 x 2 GW at 500 kV DC. The cost and size of a converter station is dependent on the rated DC voltage, with only a small variation due to power capacity.

Overall construction costs include:

- Converter project launch and management
- Converter engineer, procure, construct contract cost
- Cable terminal compounds (supply and erection of a cable sealing end compound at each end of the route)
- Cable terminations and testing (supply, erection and testing of outdoor terminations within the compounds at either end of the route)
- Cable system materials (all cables, joints, earthing and bonding equipment)
- Cable installation

Operating costs include:

- Electrical losses in the converters
- Electrical losses in the cables
- Operation and maintenance activities
- Converter refurbishment and replacement parts following failures
- Loss of income due to failures in the links
- Insurance costs
- Replacement of major systems due to age and obsolescence

A 2012 costing study[15] commissioned by the UK government calculated a lifetime cost of approximately 700 million EUR[16] for the converter stations at each end of a 1-1.5 GW link.

Unit cost information produced by National Grid [17] in 2015 gives a cost of 285-307 million EUR[18] per converter, or 570-614 million EUR for converter stations at each end of the link.

Recent discussions with suppliers suggests that prices have fallen (as would be expected due to the wider application of the technology), with estimates for 500 kV HVDC in the region of 500 million EUR for the converter stations at each end of a 1.5 GW interconnector and 600 million EUR for the converter stations at each end of a 2 GW interconnector.

The cost of the DC cables is likely to be somewhat reduced from the 25.1 million EUR per km estimated for a 380 kV AC underground cable due to the reduced number of cables and

[15] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[16] 565 million GBP converted to EUR using 2012 exchange rate of 1.233 EUR/GBP

[17] Electricity Ten Year Statement 2015, National Grid, 2015

[18] 210-226 million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

associated civil installation works and the elimination of the requirement for reactive compensation and harmonic filtering along the route.

Unit cost information produced by National Grid in 2015 gives a cost per pair of DC cables per km of 0.95-1.2 million EUR[19] for supply and 0.54-0.88 million EUR[20] for installation, or 1.5-2.1 million EUR per pair of cables per km total (i.e. 4.5 – 8.4 million EUR per km for a 6GW power corridor). This estimate does not include the cost of electrical losses and operation and maintenance activities.

500 kV DC cable is not widely available and the cable material cost may vary significantly depending on market conditions.

It can be assumed that at each converter station approximately 1% of the transmitted power is lost within the station. This includes not only energy lost as heat within the major components, converter valves, transformers, reactors etc but also auxiliary power used for cooling systems, protection & control systems and other secondary systems. In addition, losses of around 1% per 100km of cable can be expected.

As part of the initial purchase spare parts would be provided based on calculated failure rates and to cover an initial period, typically 5 years. Major items as spares would also be purchased at this time, particularly transformers, reactors and converter modules. These costs are included in the initial capital costs. Subsequent spare parts purchases are often reassessed after a few years' experience but an allowance of 0.1% of initial capital cost per year should be adequate.

It is normal to purchase an HVDC link with a life expectancy of 30-40 years. Typically, the HVDC control and protection system is considered obsolete after about 20 years and a replacement programme is carried out. This not only incurs capital cost but also an outage of two months or so is required to install and commission the new system. A new control and protection system for both ends of an interconnector could cost in the region of 20 million EUR.

It is difficult to assess if a replacement set of converter valves would be required in the first 30 years. This would be dependent on the reliability and availability of spare parts but also in that time new technology offering improved efficiency and/or reliability might make a refurbishment cost effective.

9.9 HVDC summary

HVDC can facilitate the undergrounding of long circuits where the maximum length of AC underground cable is limited. It is technically feasible to utilise HVDC technology to underground the full length of the Future Grid 2030 power corridor.

The additional cost of HVDC would be significant and HVDC technology would not offer the operational flexibility and resilience of an HVAC solution.

An HVDC solution offers several technical risks and disadvantages when compared to a HVAC equivalent.

New connections can more easily be provided using an AC circuit. Future connections to a HVDC link are possible, but each new connection along the route would require a converter station and hence large capital cost.

[19] (0.70-0.85) million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

[20] (0.40-0.65) million GBP converted to EUR using 2015 exchange rate of 1.359 EUR/GBP

Control systems for multi-terminal HVDC are complex and there are technical risks of low reliability and availability of a multi-terminal HVDC link.

Significant land area is required for converter stations at each terminal point.

A typical HVDC system requires at least four years to bring it into service. In this case, with more than one interconnector required, it would probably take a further year or more before the full scheme is operational.

There are two main options to achieve 6 GW capability; 4 × 1.5 GW or 3 × 2 GW links. Currently 1.5 GW is a normal rating for s single system VSC project. This can be achieved by several suppliers. Due to the cable voltage limit and the current limit of power electronic modules, 2 GW for one system is less easy to achieve and there are currently no VSC links of this capacity in operation. A 3 × 2 GW system therefore has a higher technical risk than 4 × 1.5 GW system.

10 Summary of Technology Comparison

The technology scoring and final positions are summarised in Table 7.

Table 7: Summary of technology comparison

Criteria	HVAC					HVDC
	Overhead Line	Underground Cable	Partially Undergrounded Overhead Line	Gas Insulated Line	Superconducting Cable	Underground Cable
Safety	+	+	+	x	x	+
Technical performance	++	x	+	x	x	- -
Environmental impact	-	-	+	x	x	-
Planning, permitting and construction	-	-	+	x	x	-
Whole life cost	++	- -	-	x	x	- -
Overall position	**1**	**x**	**2**	**x**	**x**	**3**

An AC overhead line is the preferred solution. Partial undergrounding of the AC overhead line is technically feasible and could be considered in specific areas that would be significantly affected by construction of an overhead line.

While HVDC can facilitate the undergrounding of long circuits, the additional cost of HVDC would be significant and HVDC technology would not offer the operational flexibility and resilience of an HVAC solution. It is therefore ranked in third place.

There are significant technical performance issues associated with the installation of long lengths of AC cable in transmission grids. Mitigation of these technical issues leads to increased system complexity, risk of reduced availability and significantly increased cost. Undergrounding a 100 km route length would require 1,800 km of cable which would present a significant procurement risk to the project. An underground cable solution would be significantly more expensive than an equivalent overhead line. Undergrounding of the full length of the Stevin-Avelgem and Avelgem-Centre corridors therefore does not meet the requirements of the project.

Although technically capable of providing a transmission capacity of 3 GW per circuit, experience of gas insulated line over long distances is not available. As such, a 100 km route length may face previously un-encountered technical and construction challenges. The technology is not considered sufficiently mature to be deployed as part of a critical grid reinforcement project and therefore long-distance gas insulated does not meet the requirements of the project.

Superconducting technology is still in development and is some way from implementation in an operational transmission grid. Superconducting cable therefore does not meet the requirements of the project.

11 Glossary of technical terms and acronyms

Table 8: Technical terms and abbreviations

Term	Abbreviation	Description
Alternating current	AC	A type of electrical power where the electric charge reverses direction at regular intervals
Availability		The amount of time the circuit is available for the purpose it was designed, i.e. to transmit its rated power. This is influenced by planned maintenance activity and unplanned faults.
Black start		Energisation of a previously dead system
Capacity		The amount of electricity that can be safely and reliably transmitted on the grid or a circuit
Circuit		The overhead line or underground cable linking two substations
Conductor		The part of the overhead line or underground cable that carries the electrical power
Converter station		A station that converts direct current to alternating current or vice versa
Corridor		The strip of land of a particular width where the electricity line or cable will be routed
Current		The flow of electric charge in a circuit, analogous to the flow of water in a water system. Measured in units called Amps.
Demand		The amount of electrical power that consumers take from the grid
Direct current	DC	A type of power where the electric charge is constant in direction.
Distribution grid		A lower voltage grid which delivers power to households and businesses. The equivalent of a regional minor road networks in a country's road system
Electric and magnetic field	EMF	Invisible areas of energy which occurs naturally, When electricity flows, both electric and magnetic fields are produced.
Electrical losses		See losses
Faults		A failure of equipment requiring a circuit to be switched off and therefore to become unavailable for use
Generator		A unit that produces power in the form of electricity
Grid		A network or 'energy motorway' made up of high voltage overhead lines, underground cables and substations. The grid links energy users with energy producers. It is designed so that power can flow freely to where it is needed.
Giga-Watt	GW	A unit of power (see power). 1 GW is equal to 1000 MW.
Harmonic distortion		A phenomenon which affects the quality of supply to customers.
Insulator		A component used in electrical equipment to support and separate electrical conductors.
Interconnector		A large circuit connecting two countries
kV	kV	A unit of voltage (see voltage). 1 kV is equal to 1000 V.
MW	MW	A unit of power (see power). 1 MW is equal to 1000 W.
Power Plant		A facility made up of generators that produce power in the form of electricity
Power system		The overall system which produces, transmits and distributes electricity as soon as it is needed
Reactive power		Energy held and stored in cable capacitance
Reactive power compensation		Special equipment to neutralise energy held and stored in cable capacitance and balance the associated effects

Term	Abbreviation	Description
Redundancy		The inclusion of additional capacity in case of failure of other circuits
Reliability		The ability of the circuit to perform consistently well
Renewable generation		The generation of electricity using renewable energy such as wind and solar
Substation		A set of electrical equipment used to control power flows and change the voltages between the transmission and distribution grids
Transmission grid		A physical network that links generators of electricity to the distribution grid. The transmission grid is the equivalent of the national motorway network in a country's road system
Voltage	V	A measure of electric potential, analogous to the pressure in a water system. Measured in units called volts.
Voltage source converter	VSC	A type of HVDC converter technology
Watt	W	This is a measure of electrical power. Measured in units called Watts. An electric kettle consumes about 2 kW

MOTT MACDONALD

Toekomstig Elia-net 2030

Stroomcorridor Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum
Vergelijking van technologieopties

5 maart 2019

Elia Engineering NV

Mott MacDonald
Victory House
Trafalgar Place
Brighton BN1 4FY
Verenigd
Koninkrijk

T +44 (0)1273 365000
F +44 (0)1273 365100
mottmac.com

Elia Engineering NV
Leon Monnoyerkaai
3 B-1000 Brussel

Toekomstig Elia-net 2030

40318

Stroomcorridor Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum
Vergelijking van technologieopties

5 maart 2019

Mott MacDonald Limited. Geregistreerd in Engeland en Wales onder het nr. 1243967.
Maatschappelijke zetel: Mott MacDonald House, 8-10 Sydenham Road, Croydon CR0 2EE, Verenigd Koninkrijk

Elia Engineering NV

Uitgave- en revisiegeschiedenis

Revisie	Datum	Opsteller	Controleur	Goedkeurder	Omschrijving
A	11-12-18	P Lear C Blair B Barrett	P Fletcher	P Fletcher	Eerste uitgave
B	11-01-19	P Lear	P Fletcher	P Fletcher	Tweede uitgave
C	05-03-19	P Lear	P Lear	P Lear	Laatste uitgave

Documentreferentie: 403182 | 02 | C

Informatieklasse: standaard

Dit Rapport is uitsluitend opgesteld voor gebruik door de partij die er opdracht toe heeft gegeven (ELIA) in verband met het genoemde project. Het mag voor geen enkel ander doel worden gebruikt. Alleen ELIA of partijen die uitdrukkelijk vertrouwensvoorwaarden met ons zijn overeengekomen (de 'Ontvanger(s)'), mogen vertrouwen op de inhoud, de informatie of de standpunten in het Rapport. Dit Rapport bevat door eigendomsrechten beschermde intellectuele eigendom en wij aanvaarden geen zorgvuldigheidsplicht, verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid ten aanzien van enige andere ontvanger van dit Rapport. Geen enkele verklaring, garantie of verbintenis, uitdrukkelijk of impliciet, wordt gegeven en geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid wordt door ons aanvaard ten aanzien van enige andere partij dan ELIA of de Ontvanger(s), wat betreft de nauwkeurigheid of de volledigheid van de informatie in dit Rapport. Voor alle duidelijkheid: dit Rapport beoogt op geen enkele wijze advies of opinies op juridisch, verzekerings- of financieel gebied te geven.

Wij wijzen alle aansprakelijkheid af, ongeacht of die voortvloeit uit een onrechtmatige daad, een contract of anderszins, die wij zouden kunnen hebben ten aanzien van een andere partij dan ELIA of de Ontvanger(s), met betrekking tot dit Rapport of de informatie die het bevat. Wij aanvaarden geen verantwoordelijkheid voor een fout of weglating in het Rapport die te wijten is aan een fout of weglating in gegevens, informatie of verklaringen die ons door andere partijen, waaronder ELIA, zijn verstrekt (de 'Gegevens'). We hebben de Gegevens niet onafhankelijk geverifieerd of op een andere wijze onderzocht om de nauwkeurigheid, de volledigheid, de toereikendheid voor een bepaald doel of de haalbaarheid voor een bepaald resultaat, ook financieel, vast te stellen.

De prognoses in dit document zijn opgesteld met behulp van de Gegevens en het Rapport is afhankelijk van of gebaseerd op de Gegevens. Het is onvermijdelijk dat sommige van de veronderstellingen die voor de opstelling van de prognoses zijn gebruikt, niet zullen uitkomen en dat er zich onverwachte gebeurtenissen en omstandigheden zullen voordoen. Bijgevolg kunnen wij de conclusies in het Rapport niet garanderen of waarborgen, aangezien er waarschijnlijk verschillen zullen zijn tussen de prognoses en de werkelijke resultaten, en die verschillen belangrijk kunnen zijn. Hoewel wij van mening zijn dat de in dit Rapport verstrekte informatie en adviezen gegrond zijn, moeten alle partijen op hun eigen bekwaamheid en oordeel afgaan wanneer ze er gebruik van maken.

De informatie en adviezen zijn slechts actueel op de datum van het Rapport en wij aanvaarden geen verantwoordelijkheid voor de bijwerking van dergelijke informatie of adviezen. Daarom mag er niet van worden uitgegaan dat dergelijke informatie of adviezen na de datum van het Rapport nog altijd juist zijn. In geen geval mag dit Rapport of een uittreksel of samenvatting ervan worden gebruikt in verband met een openbaar of particulier effectenaanbod, met inbegrip van een bijbehorend memorandum of prospectus voor een effectenaanbod of een beursnotering of -aankondiging.

Door dit Rapport te aanvaarden, stemt u ermee in gebonden te zijn door deze disclaimer. Deze disclaimer en alle kwesties, geschillen of vorderingen die eruit voortvloeien of ermee verband houden (hetzij contractueel of niet-contractueel van aard, zoals vorderingen als gevolg van een onrechtmatige daad, een schending van de wet of regelgeving of anderszins), worden geregeld door en geïnterpreteerd overeenkomstig de Belgische wetgeving, met uitsluiting van alle beginselen en regels omtrent wetsconflicten. Alle geschillen of vorderingen die voortvloeien uit of verband houden met deze disclaimer, vallen onder de exclusieve bevoegdheid van de rechtbanken van Brussel, waaraan de partijen zich onherroepelijk onderwerpen.

Inhoud

1 Inleiding 1

2 Context en achtergrond 2
2.1 Voorstelling van Elia 2
2.2 Behoeften van het Toekomstig Elia-net 2030 2
2.2.1 Een stroomsysteem in transformatie 2
2.2.2 Federaal Ontwikkelingsplan van Elia 2
2.2.3 Project Toekomstig Elia-net 2030 3
2.3 Verplichtingen van Elia 3

3 Technologieopties voor stroomcorridors 4
3.1 Technologieopties 4
3.2 Technische eisen voor stroomcorridors 4

4 Methode voor de vergelijking van technologieopties 5

5 Bovengrondse wisselstroomleiding 6
5.1 Installatie van een bovengrondse leiding van 380 kV 6
5.2 Veiligheid van bovengrondse leidingen 7
5.3 Technische prestaties van bovengrondse leidingen 7
5.3.1 Maturiteit van de technologie 7
5.3.2 Elektrische impact op het net 9
5.3.3 Complexiteit van het systeem 9
5.3.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen 9
5.3.5 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid 9
5.3.6 Beheer en onderhoud 9
5.4 Milieu-impact van bovengrondse leidingen 10
5.4.1 Grondgebruik 10
5.4.2 Ecologie 10
5.4.3 Hoorbaar geluid 10
5.4.4 Elektrische en magnetische velden 11
5.5 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor bovengrondse leidingen 12
5.6 Kosten gedurende de volledige levensduur van een bovengrondse leiding 13
5.7 Samenvatting van bovengrondse leidingen 14

6 Ondergrondse wisselstroomkabel 15
6.1 Installatie van een ondergrondse kabel van 380 kV 15

6.2 Veiligheid van ondergrondse kabels 17
6.3 Technische prestaties van ondergrondse kabels 17
6.3.1 Maturiteit van de technologie 17
6.3.2 Elektrisch effect op het net 17
6.3.3 Complexiteit van het systeem 19
6.3.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen 19
6.3.5 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid 19
6.3.6 Beheer en onderhoud 20
6.4 Milieu-impact van ondergrondse kabels 20
6.4.1 Grondgebruik 20
6.4.2 Ecologie 20
6.4.3 Elektrische en magnetische velden 21
6.5 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor ondergrondse kabels 21
6.6 Kosten gedurende de volledige levensduur van een ondergrondse kabel 21
6.7 Samenvatting van ondergrondse kabels 22

7 Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse wisselstroomleiding 24

8 Alternatieve ondergrondse technologieën 25
8.1 Gasgeïsoleerde leiding 25
8.2 Supergeleidende kabel 25

9 HVDC als alternatief voor HVAC 27
9.1 HVDC-configuratie 27
9.2 HVDC-topologie 28
9.3 HVDC installatie 29
9.3.1 HVDC-convertorstation 29
9.3.2 Installatie van een ondergrondse HVDC-kabel 31
9.4 HVDC-veiligheid 32
9.5 Technische prestaties van HVDC 32
9.5.1 Maturiteit van de technologie 32
9.5.2 Elektrisch effect op het net 33
9.5.3 Complexiteit, beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het systeem 33
9.5.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen 34
9.5.5 Beheer en onderhoud 34
9.6 Milieu-impact van HVDC 34
9.7 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor HVDC 34
9.8 Kosten gedurende de volledige levensduur voor HVDC 35
9.9 Samenvatting van HVDC 36

10 Vergelijkend technologieoverzicht 38

11 Woordenlijst van technische termen en acroniemen 40

1 Inleiding

Elia Engineering heeft Mott MacDonald de opdracht gegeven om een beoordeling uit te voeren van de technologieopties voor hoogspanningscorridors.

In dit rapport worden de technologieopties vergeleken met de specifieke eisen van het project Toekomstig Elia-net 2030.

Mott MacDonald is een wereldwijd adviesbureau op het gebied van engineering, management en ontwikkeling. Onze maatschappelijke zetel bevindt zich in het VK. Een van onze specialisaties is stroomopwekking, -transmissie en -distributie, waarvoor we een compleet assortiment engineeringdiensten aanbieden die nodig zijn voor de ontwikkeling en uitvoering van hoogspanningssystemen.

2 Context en achtergrond

2.1 Voorstelling van Elia

Elia is de eigenaar en beheerder van het Belgische hoogspanningselektriciteitstransmissienet. De eigendommen omvatten alle Belgische elektriciteitsnetinfrastructuur van 150 kV, 220 kV en 380 kV, en bijna 94% van de netinfrastructuur tussen 30 kV en 70 kV. Het net van Elia bestaat uit 3000 km aan bovengrondse leidingen, 5500 km aan ondergrondse kabels en 800 onderstations.

Hoofdactiviteiten van Elia:

- Beheer van de infrastructuur: onderhoud en ontwikkeling van het net, en aansluiting van elektrische installaties op het net;
- Beheer van het elektriciteitssysteem: verlening van toegang tot het net op een eenvoudige, objectieve en transparante manier, volledige dienstverlening voor het transport van elektriciteit, controle van de stromen op het net om na te gaan of de elektriciteit vlot stroomt, en beheer gedurende 24 uur per dag van het evenwicht tussen het elektriciteitsverbruik en de elektriciteitsproductie;
- Facilitering van de markt: ontwikkeling van initiatieven om de werking van de elektriciteitsmarkt te verbeteren, en terbeschikkingstelling van de infrastructuur ervan op een transparante, niet-discriminerende manier aan alle marktspelers. Elia ontwikkelt diensten en mechanismen die de markt in staat stellen om op verschillende platforms handel te drijven, wat het economische concurrentievermogen en welzijn bevordert.

2.2 Behoeften van het Toekomstig Elia-net 2030

2.2.1 Een stroomsysteem in transformatie

Het Belgische stroomsysteem ondergaat een transformatie.

Zoals vele stroomsystemen in de wereld wordt dit systeem van oudsher gedomineerd door een klein aantal zeer grote, gecentraliseerde thermische centrales.

In het huidige stroomsysteem moet energie worden opgenomen die afkomstig is van vele stroomopwekkingsbronnen en -technologieën, en wordt er meer internationale energie uitgewisseld. Het net van Elia is een belangrijke verbinding tussen Frankrijk, de grootste exporteur van elektriciteit in Europa, en de markten in Noord-Europa.

Tegelijkertijd staat Elia voor de uitdaging om een energiesysteem tot stand te brengen dat duurzaam, betaalbaar en betrouwbaar is. Dit staat bekend als het "energietrilemma".

Er is een aanzienlijke uitbreiding en versterking van het Belgische net nodig om de huidige uitdagingen aan te gaan en om een toenemende opwekking uit hernieuwbare bronnen te ondersteunen overeenkomstig de beleidsdoelstellingen.

2.2.2 Federaal Ontwikkelingsplan van Elia

Het Federaal Ontwikkelingsplan van Elia bestrijkt een periode van 10 jaar en wordt om de 4 jaar aangepast en gepubliceerd. Het wordt ontwikkeld in samenwerking met de Federale Overheidsdienst Economie en het Federaal Planbureau.

In het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030 worden de capaciteitsbehoeften voor het Belgische hoogspanningsnet (150 kV, 220 kV en 380 kV) voor de periode tussen 2020 en 2030 geïdentificeerd, en wordt het investeringsprogramma beschreven dat nodig is om dit te bereiken.

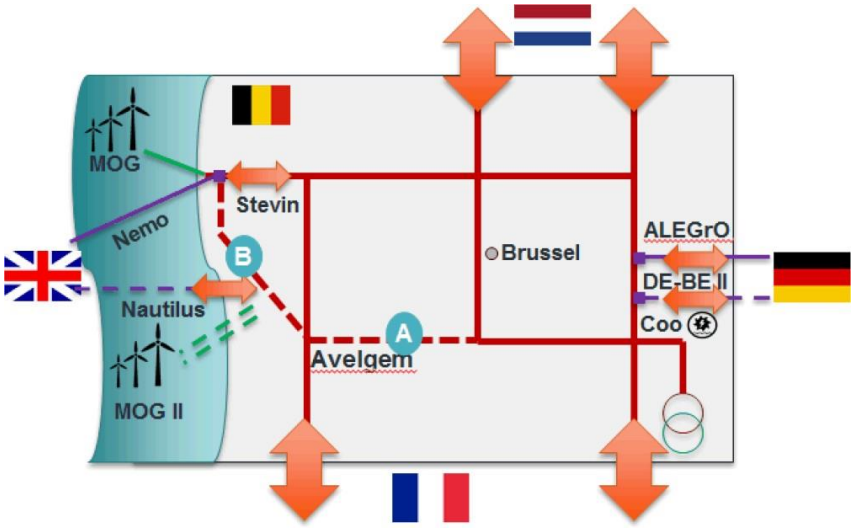
Het plan omvat de versterking van het transmissienet van 380 kV, de integratie van extra offshore windenergieopwekking en de ontwikkeling van interconnecties met andere landen.

2.2.3 Project Toekomstig Elia-net 2030

Het project Toekomstig Elia-net 2030 is opgenomen in het Federaal Ontwikkelingsplan 2020-2030:

- Realisatie van een nieuwe verbinding van 6 GW (2 x 3 GW) tussen Stevin en Avelgem, de Stevin-Avelgem-corridor
- Realisatie van een nieuwe verbinding van 6 GW (2 x 3 GW) tussen Avelgem en het centrum van het land, de Avelgem-Centrum-corridor

Figuur 1: Toekomstig Elia-net 2030



Bron: Elia

2.3 Verplichtingen van Elia

Elke technologieoptie moet worden bekeken in de context van de wettelijke en reglementaire verplichtingen van Elia. Voor alle nieuwe ontwikkelingen worden de volgende verplichtingen in aanmerking genomen:

1. Veiligheid - Naleving van alle relevante veiligheidsnormen
2. Milieu - Naleving van alle milieunormen en -beleidsregels
3. Betrouwbaarheid en beschikbaarheid - De mate waarin het net beschikbaar is voor gebruik, rekening houdend met de storingsduur voor geplande en ongeplande gevallen van niet-beschikbaarheid.
4. Robuustheid en flexibiliteit - Het vermogen van het net om niet-standaard bedrijfsomstandigheden en netstoringen te weerstaan zonder verlies van stroomvoorziening, en het voorzien van toekomstige netaansluitingen en -verzwaringen.
5. Economische efficiëntie - Voorziening van een kosteneffectieve oplossing die aan de eisen van het project voldoet, met gelijktijdige beheersing van de kosten gedurende de levensduur van de ontwikkeling.

3 Technologieopties voor stroomcorridors

3.1 Technologieopties

In dit rapport worden de volgende technologieopties voor hoogspanningscorridors in overweging genomen:

- Bovengrondse leidingen
- Ondergrondse kabels
- Hoogspanningsgelijkstroom (‘High Voltage Direct Current’, HVDC) als alternatief voor hoogspanningswisselstroom (‘High Voltage Alternating Current’, HVAC)

3.2 Technische eisen voor stroomcorridors

De stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030 stelt de volgende eisen aangaande de technische functionaliteit:

Tabel 1: Technische basiseisen

Criteria	Eis
Stroomcapaciteit	6 GW
Redundantie	50% beschikbaarheid na een enkelvoudige netstoring (d.w.z. dat er ten minste twee onafhankelijke circuits van 3 GW nodig zijn, of een capaciteit van 2 x 3 GW)
Lengte	50-100 km
Voorziening voor toekomstige extra aansluitingen op de nieuwe leidingen	Vereist

4 Methode voor de vergelijking van technologieopties

De technologieopties voor stroomcorridors zijn vergeleken aan de hand van de volgende technische criteria:

Tabel 2: Criteria voor de vergelijking van technologieopties

Criteria	Opmerkingen
Veiligheid	De in het rapport besproken technologieën zijn in staat om aan alle relevante veiligheidsnormen te voldoen. Ze kunnen overal veilig worden gemaakt, ook op voor het publiek toegankelijke plaatsen. Daarom wordt in het rapport niet uitvoerig ingegaan op de veiligheid.
Technische prestaties	Moet omvatten: • Maturiteit van de technologie • Complexiteit van het systeem • Elektrische impact op het net • Voorziening van bijkomende toekomstige aansluitingen • Beheer en onderhoud
Milieu-impact[1]	Moet de milieu-, de ecologische en de maatschappelijke impact omvatten. Zie opmerking 1.
Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma	-
Kosten gedurende de volledige levensduur	-

1 Afzonderlijke en meer gedetailleerde beoordelingen van de milieu-, de ecologische en de maatschappelijke impact worden net als studies over de aanvaarding door het publiek door anderen uitgevoerd.

De belangrijkste technische risico's die gepaard gaan met de toepassing van elke technologie voor het project Toekomstig Elia-net 2030, worden geïdentificeerd en besproken.

Elke technologie wordt getoetst aan de volgende scorecriteria:

Tabel 3: Scorecriteria

Score	Omschrijving
++	Zeer laag risico / aanzienlijk voordeel
+	Laag risico / matig voordeel
-	Matig risico / matig nadeel
- -	Aanzienlijk risico / aanzienlijk nadeel
X	Voldoet niet aan de minimumeisen

5 Bovengrondse wisselstroomleiding

Op dit ogenblik beheert Elia het transmissienet op 150 kV, 220 kV en 380 kV.

380 kV wordt beschouwd als de meest geschikte wisselstroombedrijfsspanning voor de stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030 om aan de vereiste stroomtransmissiecapaciteit te voldoen. Door de spanning te verhogen, vermindert de stroom die door de leidingen gaat, waardoor het vermogensverlies afneemt.

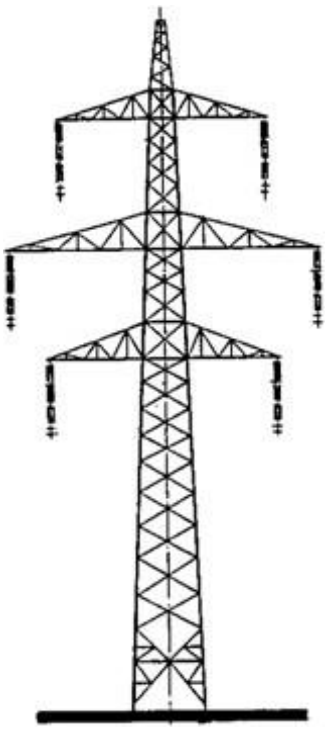
Een bovengrondse leiding van 380 kV met een dubbel circuit zal aan de technische eisen van het Toekomstig Elia-net 2030 voldoen.

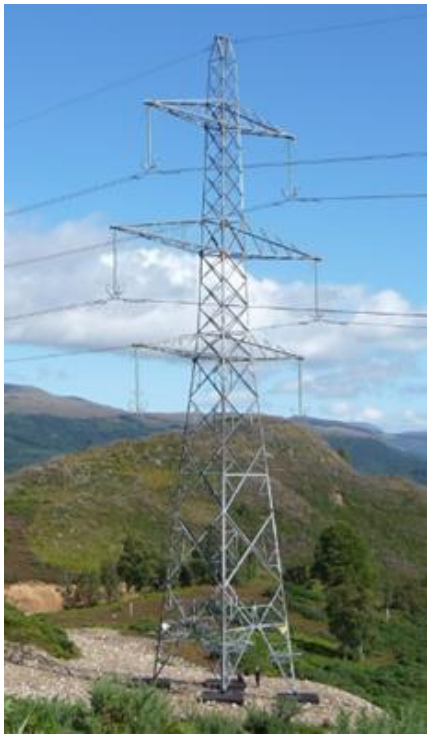
5.1 Installatie van een bovengrondse leiding van 380 kV

De vereiste capaciteit van 6 GW kan worden geleverd via een bovengrondse leiding met een dubbel circuit, d.w.z. 2 circuits van 3 GW die op één maststructuur steunen.

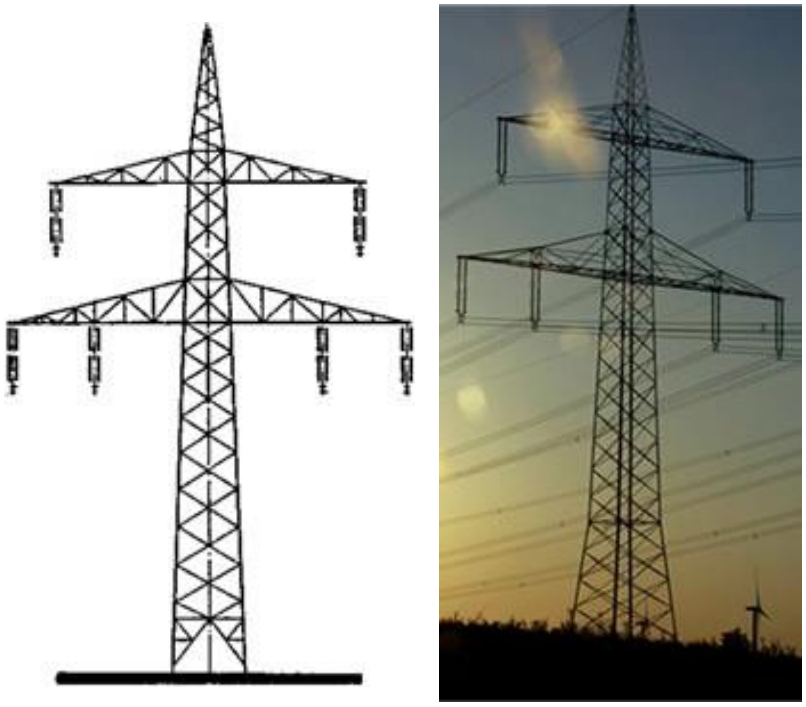
Het ontwerp van de mast zal worden gekozen als onderdeel van het ontwerp van het traject. Ontwerpen van standaard stalen vakwerkmasten omvatten verticale en driehoekige (ook wel Donau genoemde) geleiderconfiguraties. Verticale masten zijn hoger en smaller dan Donau-masten, die korter en breder zijn.

Figuur 2: Stalen vakwerkmast met dubbel circuit (verticale geleiderconfiguratie)





Figuur 3: Donau-mast met bovengrondse leiding met dubbel circuit



De hoogte van de masten en de afstand tussen de masten worden zo gekozen dat een minimale veilige geleiderhoogte boven de grond wordt aangehouden. De standaard afstand tussen masten van 380 kV is telkens 350-400 m. De hoogte van de masten varieert naargelang van het type mast en de positie ervan; masten van 380 kV voor verticale geleiderconfiguraties zijn meestal 50 m hoog met een basisafmeting van ongeveer 8 m, terwijl Donau-masten ongeveer 40 m hoog zijn.

5.2 Veiligheid van bovengrondse leidingen

Bovengrondse leidingen worden vervaardigd volgens nationale normen om ervoor te zorgen dat ze zijn ontworpen voor de plaatselijke omgevingsomstandigheden, waarbij er voldoende vrije hoogte boven de grond overblijft wanneer de geleider maximaal doorhangt.

5.3 Technische prestaties van bovengrondse leidingen

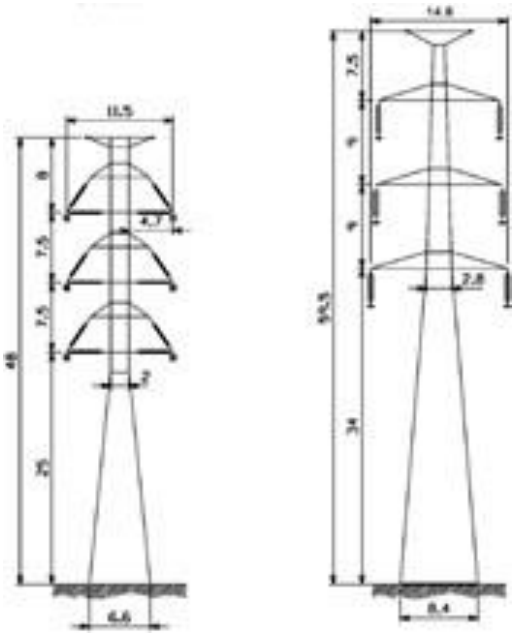
De installatie van een standaard bovengrondse leiding van 380 kV kan voldoen aan de technische eisen van het project Toekomstig Elia-net 2030.

5.3.1 Maturiteit van de technologie

De bovengrondse leiding is een mature technologie die al meer dan 50 jaar grotendeels onveranderd is gebleven.

Er zijn variaties in de ontwerpen van standaard stalen vakwerkmasten, bijvoorbeeld de compactere constructies met geïsoleerde dwarsarmen (zie figuur 4 en figuur 5) en de structuren van gevouwen staal die als visueel aantrekkelijker kunnen worden beschouwd (zie figuur 6).

Figuur 4: Compacte mast (met geïsoleerde dwarsarmen) vergeleken met een conventionele mast



Bron: Elia

Figuur 5: Compacte mast van 380 kV

Bron: Elia

Figuur 6: Structuur van gevouwen staal van 380 kV

Bron: National Grid UK

5.3.2 Elektrische impact op het net

De bovengrondse leiding heeft een geringe elektrische impact op het systeem waarop ze is aangesloten, en zal dus geen noemenswaardig nadelig effect op het transmissienet hebben.

5.3.3 Complexiteit van het systeem

De bovengrondse leiding is betrekkelijk eenvoudig te vervaardigen en te gebruiken.

5.3.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen

Het is eenvoudig om toekomstige aansluitingen op een bestaande bovengrondse wisselstroomleiding te voorzien via standaard aansluitconfiguraties.

5.3.5 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid

De bovengrondse leiding is een robuuste technologie en heeft een hoge beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Bij tijdelijke storingen wordt de leiding meestal binnen enkele seconden na het incident automatisch weer in dienst gesteld, met een minimale onderbreking van de stroomvoorziening aan de klant. Wanneer schade echter tot een aanhoudende storing leidt, zal het niet lukken om de leiding automatisch opnieuw onder spanning te brengen en moet de leiding buiten dienst worden gesteld. Fysieke schade kan gemakkelijk worden vastgesteld door visuele inspectie. De schade is meestal gering en kan gewoonlijk binnen enkele dagen worden gerepareerd.

Tabel 4 bevat statistieken aangaande storingen van 380 kV voor de Scandinavische landen.

Tabel 4: Statistieken aangaande BGL's van 380 kV voor de Scandinavische landen

Land	Lei-dingen (km) in 2016	Aantal storin-gen in 2016	Aantal storingen per 100 km	
			2016	1996-2016
Denemarken	1419	2	0,14	0,32
Finland	6086	7	0,12	0,25
Noorwegen	3266	30	0,92	1,14
Zweden	10564	25	0,24	0,36

Bron: ENTSO-E-statistieken uit 2016 aangaande het Scandinavische net

De meeste storingen van bovengrondse leidingen zijn tijdelijk. Storingen die als 'permanent' worden gecategoriseerd en onmiddellijke interventie vereisen om reparaties uit te voeren, beslaan meestal minder dan 10% van alle storingen.

Door de geringe elektrische impact op het systeem kan de bovengrondse leiding vanuit een betrekkelijk zwak systeem onder spanning worden gebracht en stroom leveren aan voorheen spanningsloze systemen, zoals in een black-startscenario.

5.3.6 Beheer en onderhoud

Het geplande onderhoud van de bovengrondse leidingen omvat trajectpatrouilles en -inspecties, vegetatiebeheer, schilderen van masten en andere werkzaamheden die nodig zijn om de bovengrondse leiding bruikbaar te houden.

Veel onderhoudsinspecties kunnen worden uitgevoerd zonder onderbreking, met behulp van helikopterinspecties of inspectietechnieken op afstand met drones. Deze inspecties worden elk jaar of om de twee jaar uitgevoerd, afhankelijk van het beleid van de eigenaar.

Kliminspecties van masten voor bovengrondse leidingen zijn over het algemeen mogelijk zonder onderbreking, op voorwaarde dat de veiligheidsafstanden tot de onder spanning staande geleiders gehandhaafd blijven.

Om toegang te krijgen tot de isolatoren of de geleider om reparaties uit te voeren, is meestal een onderbreking nodig. Sommige nutsbedrijven gebruiken methoden om ‘op afstand’ of ‘met blote handen’ onder spanning reparaties uit te voeren aan isolatoren en geleiders, zonder onderbreking. Dit vereist gespecialiseerde apparatuur en opleiding.

5.4 Milieu-impact van bovengrondse leidingen

Bovengrondse leidingen zijn grote lineaire bouwprojecten die in verschillende mate van invloed zijn op visuele en andere milieuaspecten van het landschap dat ze doorkruisen.

Bij de aanleg van nieuwe bovengrondse leidingen moeten welomschreven richtlijnen en regels worden gevolgd om het effect op het milieu tot een minimum te beperken, en moet overleg worden gepleegd met de belanghebbenden. De aanleg van bovengrondse leidingen is een ingewikkeld proces. Er moet een evenwicht worden gevonden tussen de wettelijke verplichtingen, de technische eisen, de economische levensvatbaarheid, het grondgebruik en het milieu.

Bovengrondse leidingen zijn mogelijk niet geschikt voor sommige stedelijke regio’s of gebieden met een hoge milieugevoeligheid. Ondergrondse kabels zijn in sommige gevallen een alternatief.

5.4.1 Grondgebruik

Trajecten van bovengrondse leidingen moeten mogelijk landbouw-, stedelijke, industrie- of milieugevoelige gebieden doorkruisen.

Bovengrondse leidingen vormen geen belemmering voor de normale werkzaamheden op landbouwgrond, maar het kan nodig zijn om voorzorgsmaatregelen te nemen bij het gebruik van sommige types landbouwmachines.

Het gebruik van bovengrondse leidingen in stedelijke gebieden zal tot beperkingen van het toekomstige grondgebruik leiden.

In industriegebieden leveren bovengrondse leidingen normaal geen belangrijke problemen op in verband met het grondgebruik.

Trajectplanners moeten milieugevoelige gebieden aanwijzen, zodat de bovengrondse leidingen waar mogelijk van die gebieden weg kunnen worden geleid.

5.4.2 Ecologie

Ecologische bekommernissen zijn onder meer de vernietiging van vegetatie en graafwerken tijdens de bouw, en de sterfte van vogels door aanvaringen tijdens het gebruik.

De vernietiging van vegetatie omvat de verwijdering van bomen en planten uit de corridor van de bovengrondse leiding en de toegangswegen. Leidingcorridors moeten met bijzondere zorg worden vrijgemaakt om de schade aan het oorspronkelijke natuurlijke landschap tot een minimum te beperken, en de natuurlijke habitat onder en rond de leidingen de kans te geven tot bloei te komen. Tijdens het gebruik is een doorlopend vegetatiebeheer vereist.

Er zijn graafwerken nodig voor de aanleg van toegangswegen en funderingen.

Het gebruik van aan geleiders bevestigde vogelflappen is doeltreffend om het aantal aanvaringen te verminderen.

5.4.3 Hoorbaar geluid

Bovengrondse leidingen zijn zo ontworpen dat het door elektrische ontlading veroorzaakte en door wind gegenereerde hoorbare geluid tot een minimum wordt beperkt. Elektrische ontlading veroorzaakt geknetter en gebrom met lage frequentie, en neemt toe in sommige natte weersomstandigheden.

5.4.4 Elektrische en magnetische velden

We worden overal waar we leven blootgesteld aan elektrische en magnetische velden. Natuurlijke elektrische en magnetische velden omvatten het geomagnetische veld van de aarde en de elektrische velden van donderwolken. Andere bronnen zijn radiogolven, tv-signalen en zichtbaar licht.

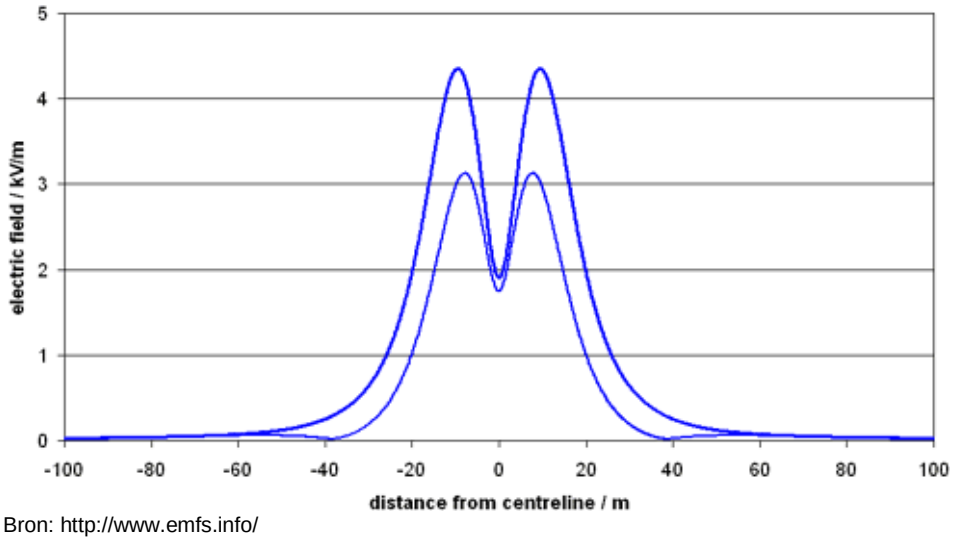
Wanneer elektriciteit stroomt, worden zowel elektrische als magnetische velden opgewekt. De omvang van de velden hangt af van een aantal factoren, waaronder de spanning, de stroom, de geometrie en de configuratie van de leiding.

Bovengrondse leidingen zijn een bron van twee velden: het elektrische veld dat door de spanning wordt opgewekt, en het magnetische veld dat door de stroom wordt opgewekt.

De elektrische en magnetische velden van bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels moeten voldoen aan de relevante blootstellingslimieten.

Figuur 7 toont typische elektrische velden voor twee types bovengrondse leidingen van 380 kV van het type verticale mast met getransponeerde fasering.

Figuur 7: Typische elektrische velden voor twee geïnstalleerde bovengrondse leidingen van 380 kV

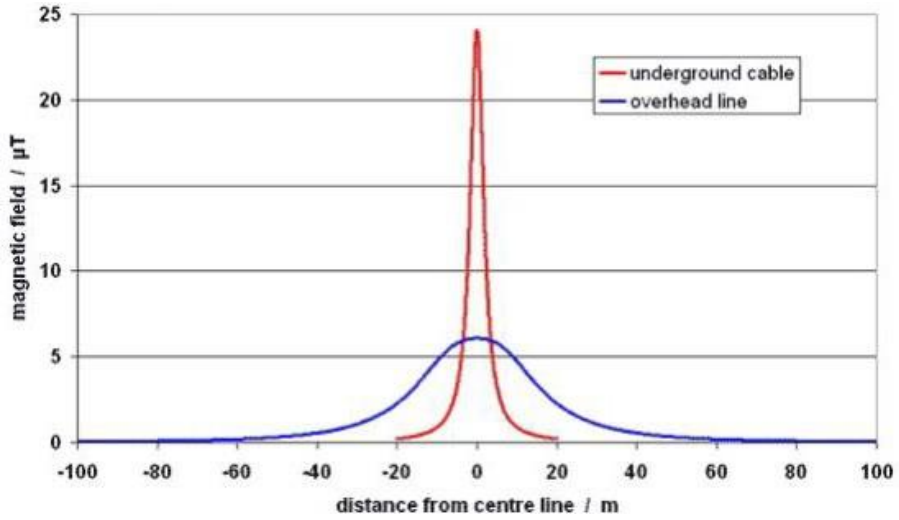


Bron: http://www.emfs.info/

Een metalen mantel rond de ondergrondse kabels elimineert het elektrische veld, maar de kabels wekken nog steeds magnetische velden op.

Figuur 8 toont het magnetische veld tegenover de afstand van equivalente bovengrondse en ondergrondse circuits voor een specifiek geval.

Figuur 8: Typische magnetische velden voor een bepaalde bovengrondse leiding en de equivalente ondergrondse kabel



Bron: http://www.emfs.info/

Naarmate de bron van een magnetisch veld wordt benaderd, wordt het veld hoger. Kabels worden gewoonlijk 1 m onder de grond geïnstalleerd, terwijl de geleiders van een bovengrondse leiding van 380 kV zich gewoonlijk meer dan 10 m boven de grond bevinden. Dit betekent dat het magnetische veld direct boven een kabel gewoonlijk hoger is dan het veld direct onder de equivalente bovengrondse leiding.

Aangezien afzonderlijke kabels veel dichter bij elkaar kunnen worden geïnstalleerd dan de geleiders van een bovengrondse leiding, is het resultaat dat het magnetische veld van kabels sneller daalt met de afstand dan het magnetische veld van bovengrondse leidingen.

In het algemeen is het magnetische veld groter direct boven de kabel en voor een korte afstand tot de zijkanten van de kabel. Op grotere afstanden tot de zijkanten wekt de kabel een lager veld op dan de bovengrondse leiding.

5.5 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor bovengrondse leidingen

De ontwikkeling van een bovengrondse leiding, van het concept tot de voltooiing, neemt doorgaans verscheidene jaren in beslag. De ontwikkeling is een iteratief proces waarbij rekening moet worden gehouden met zowel de waarde voor het publiek als de technische haalbaarheid.

Om een nieuwe stroomcorridor te ontwikkelen, worden belemmeringen tussen het begin- en eindpunt in kaart gebracht en wordt een voorlopig traject en ontwerp vastgesteld. Vervolgens worden de belanghebbenden geraadpleegd, met inbegrip van de landeigenaars en het grote publiek, wat vaak leidt tot de wijziging van de voorlopige trajecten en het ontwerp.

Nieuwe bovengrondse leidingen kunnen op verzet van het publiek stuiten wegens het visuele effect van de leiding en andere milieubekommernissen. De plannings- en vergunningsprocedure zal door dit verzet waarschijnlijk meer tijd in beslag nemen.

Voor de milieuvergunningsprocedure moet het te gebruiken type mast worden gekozen. De procedure kan langer duren als een nieuw mastontwerp wordt gebruikt. Het gebruik van een bestaand ontwerp voor bovengrondse leidingen kan dus voordelen bieden voor het algemene programma.

De landeigenaars moeten toestemming en grondrechten verlenen voor de plaatsing van apparatuur op hun grond en voor toegang voor onderhoud. Er is periodiek toegang tot elke mastpositie nodig om de geleider- en isolatiesystemen en de maststructuur te onderhouden. Over het algemeen kan deze toegang worden gepland, maar in sommige omstandigheden kan een noodinterventie nodig zijn om reparaties uit te voeren. Tussen de masten kan afhankelijk van het grondgebruik periodieke toegang nodig zijn om bomen te kappen. Boomgroei kan tot gevolg hebben dat de elektrische afstand tot de geleiders van de leiding in het gedrang komt, met het daaruit voortvloeiende risico dat de leiding uitvalt, en daarom moeten in beboste gebieden regelmatig bomen worden gekapt om een vrije corridor te handhaven.

Er kunnen minder en hogere torens worden gebruikt om de overspanning te vergroten, en zo de overlast voor landeigenaars te verminderen. Deze structuren moeten echter zo worden ontworpen dat ze bestand zijn tegen de daaruit voortvloeiende extra geleiderbelastingen. Ze hebben over het algemeen een zwaardere constructie dan een typische mast en kunnen door de extra hoogte en sterkte visueel ingrijpender zijn. De planningsautoriteiten geven over het algemeen de voorkeur aan lagere structuren, terwijl de landeigenaars over het algemeen de voorkeur geven aan grotere overspanningen. Het uiteindelijke ontwerp zal altijd een compromis zijn.

5.6 Kosten gedurende de volledige levensduur van een bovengrondse leiding

Er zijn veel factoren die de kosten van een bovengrondse leiding beïnvloeden, zoals de capaciteit en de lengte, het ontwerp van de mast, het terrein en de bodemgesteldheid langs het traject.

De materiaalkosten maken naar schatting ongeveer 65% van de totale leidingkosten uit.

De totale bouwkosten omvatten:

- Werfmobilisatie
- Funderingen
- Mastmaterialen
- Geleiders, aardleidingen en verbindingen
- Isolatoren en fittingen
- Bouw van masten en bespanning
- Toegangswegen
- Engineering en veiligheid (met inbegrip van bouwvergunningen voor recht van overpad en toegang, engineering op locatie, beheer, veiligheidsvoorzieningen om aannemers en het publiek te beschermen)
- Project starten en beheren (vroege ontwerpen, vergunningsaanvraag, projectbeheer)

De bedrijfskosten omvatten:

- Elektrische verliezen in de geleider
- Beheer- en onderhoudsactiviteiten

In een kostenberekeningsstudie[1] uit 2012, die in opdracht van de Britse regering werd uitgevoerd, werden de kosten gedurende de volledige levensduur berekend op 4,9 miljoen EUR[2] per km voor een bovengrondse leiding van 380 kV met de capaciteit en lengte die nodig zijn voor het project Toekomstig Elia-net 2030.

[1] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[2] 4,0 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2012 van 1,233 EUR/GBP

Informatie over de eenheidskosten die in 2015 door National Grid[3] werd verstrekt, geeft een kostprijs van 2,7-3,5 miljoen EUR[4] per km. In deze waarde zijn de kosten van elektrische verliezen en beheer- en onderhoudsactiviteiten niet inbegrepen.

5.7 Samenvatting van bovengrondse leidingen

De technologie van bovengrondse hoogspanningsleidingen biedt een robuuste en kosteneffectieve oplossing voor de transmissie van grote hoeveelheden elektriciteit over lange afstanden.

Een bovengrondse leiding heeft een hoge graad van beschikbaarheid en de meeste storingen kunnen gemakkelijk en snel worden opgespoord en verholpen.

Bovengrondse leidingen zijn een flexibele technologie die in een groot aantal geofysische en topografische omgevingen kan worden aangelegd en in elkaar gezet. Ze hebben een betrekkelijk geringe fysieke impact op het land.

Bovengrondse leidingen zijn mogelijk niet geschikt voor sommige stedelijke regio's of gebieden met een hoge milieugevoeligheid.

De voornaamste risico's in verband met de aansluiting van een bovengrondse leiding doen zich gewoonlijk voor in de ontwerpfase, waar een behoedzaam ontwerp vereist is om ervoor te zorgen dat de bovengrondse leiding tijdens haar operationele levensduur aan de verwachte betrouwbaarheids- en prestatie-eisen voldoet. Het gaat hierbij om gebieden als bliksemprestaties, bouwkundige uitvoerbaarheid, bedrijfstechnische voorwaarden en onderhoudbaarheid.

Vóór en tijdens de aanleg zijn ook de toegang tot het traject, de bodemgesteldheid en de milieurisico's belangrijke overwegingen.

Tijdens de levensduur van de bovengrondse leiding zal de leiding storingen ondervinden die te wijten zijn aan de omgeving, derden en slijtage. Robuuste onderhouds- en inspectieprocedures beperken dit risico tot een minimum. Storingen van bovengrondse transmissieleidingen als gevolg van een calamiteit kunnen zich voordoen, maar zijn zeldzaam.

[3] Electricity Ten Year Statement, National Grid, 2015

[4] 2,0-2,6 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

6 Ondergrondse wisselstroomkabel

Ondergrondse kabels spelen een belangrijke rol in transmissienetten, omdat ze een alternatieve oplossing bieden voor bovengrondse leidingen om elektriciteit over te brengen op plaatsen waar bovengrondse leidingen niet kunnen worden gebruikt. Ondergrondse kabels worden meestal geïnstalleerd in stedelijke of milieugevoelige gebieden.

Zoals in hoofdstuk 5 van het rapport wordt vermeld, wordt 380 kV beschouwd als de meest geschikte wisselstroombedrijfsspanning voor de stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030 om aan de vereiste stroomtransmissiecapaciteit te voldoen.

Ondergrondse kabels van 380 kV maken minder dan 2% uit van de wisselstroomtransmissiesystemen van 380 kV te land in West-Europa, terwijl voor meer dan 98% bovengrondse leidingen worden gebruikt.

Tabel 5: Lengten* van bovengrondse en ondergrondse wisselstroomcircuits van 380 kV in West-Europa

Land	Bovengrondse leiding (km)	Ondergrondse kabel (km)	% kabel
België**	1490	40	2,61%
Denemarken	1508	371	19,7%
Finland	4331	0	0,00%
Frankrijk	21364	3	0,01%
Duitsland	20307	70	0,34%
Ierland	439	0	0,00%
Italië	10327	466	4,32%
Nederland	2091	30	1,41%
Noorwegen	8355	442	4,80%
Portugal	2236	0	0,00%
Spanje	19622	55	0,28%
Zweden	10708	8	0,07%
Zwitserland	1788	8	0,45%
VK	11979	229	1,86%

Bron: ENTSO-E Statistical Yearbook 2011

* ENTSO-E definieert het bovenstaande als "Lengte van circuits in km".
** Bijgewerkt om de projecten Brabo en Stevin op te nemen, die na 2011 in gebruik zijn genomen.

6.1 Installatie van een ondergrondse kabel van 380 kV

Om 2 x 3 GW over een afstand van 50-100 km via een ondergrondse kabel van 380 kV over te brengen, zouden twee circuits nodig zijn, met telkens drie kabels per fase of 18 kabels in totaal.

Langs het kabeltraject kunnen verschillende installatiemethoden worden toegepast. De installatiemethoden zouden worden vastgesteld na de keuze van het traject en de identificatie van de obstakels. Het grootste deel van het traject zal waarschijnlijk direct worden ingegraven. Andere installaties kunnen bestaan uit oppervlaktegoten, kanalen, horizontaal gericht geboorde en diepgeboorde of open tunnels.

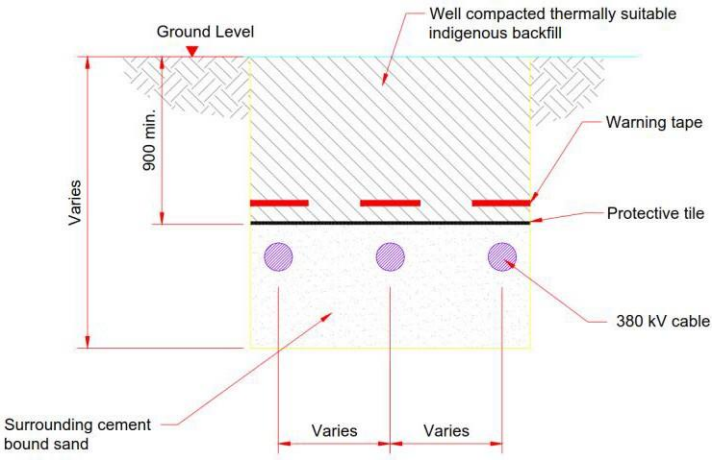
Typische installatie- en constructiedetails voor de ontwikkeling van een direct ingegraven ondergrondse kabel van 380 kV en 2 x 3 GW worden hieronder gegeven.

Groepen van drie kabels (één per fase) worden in sleuven gelegd die in de grond zijn uitgegraven en met zand (of een mengsel van zand en cement) zijn omgeven om de warmteoverdracht te verbeteren.

Er worden beschermkappen boven de kabels geplaatst en de sleuf wordt opgevuld met uitgegraven materiaal, waarbij ervoor wordt gezorgd dat in de bovenste laag weer bovengrond wordt aangebracht.

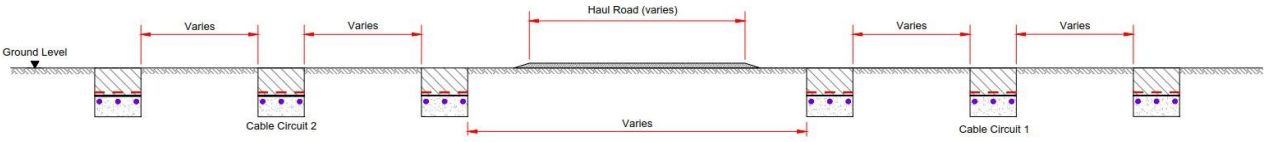
De communicatiekabels worden in dezelfde sleuf geïnstalleerd als de stroomkabels.

Figuur 9: Indicatieve configuratie van een open sleuf voor directe ingraving



Voor de installatie zouden zes sleuven moeten worden uitgegraven, drie aan weerszijden van een centrale weg. Er is een speciale weg nodig om materialen van en naar de werf te vervoeren, en om de kabels te vervoeren.

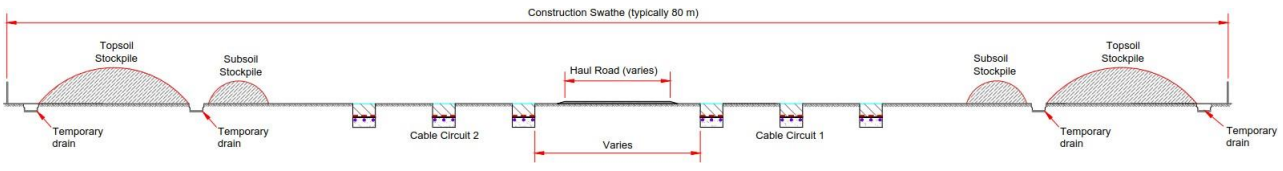
Figuur 10: Indicatieve direct ingegraven installatie van 380 kV en 2 x 3 GW



Door voorzieningen voor bouwactiviteiten wordt de breedte van de corridor nog groter. Er moet voldoende ruimte zijn voor het gebruik van de graafmachine. Er moet over de volledige lengte van het traject ruimte zijn voor de tijdelijke opslag van uitgegraven materiaal.

Voor de periode van de bouwactiviteit zou dit resulteren in een totale breedte van de corridor van maximaal 80 m, waarbij de voltooide installatie ongeveer 30 m breed is.

Figuur 11: Indicatieve bouwdoorsnede



6.2 Veiligheid van ondergrondse kabels

Het grootste veiligheidsrisico in verband met ingegraven kabels is onbedoelde aanraking door een derde, meestal een aannemer die graafwerken uitvoert.

De kabels worden op verschillende diepten geïnstalleerd, afhankelijk van het grondgebruik en het terrein. Zo worden kabels die in landbouwgrond worden geïnstalleerd, gewoonlijk op 0,9 m diepte ingegraven om het gebruik van landbouwmachines erboven mogelijk te maken.

Dit risico van onbedoelde aanraking wordt verkleind door ervoor te zorgen dat de positie van het kabeltraject met waarschuwingstape wordt gemarkeerd, en op revisietekeningen wordt vastgelegd. Boven de kabel worden tegels aangebracht om mechanische bescherming te bieden. De waarschuwingstapes en beschermende tegels dienen als waarschuwing tijdens de graafwerken.

Voor de installatie van ondergrondse kabels moeten grote hoeveelheden materiaal worden verwijderd, wat mechanische uitgraving vereist. Uitgravingen moeten zorgvuldig worden ontworpen en beheerd om de veiligheid van het voltallige personeel te waarborgen.

6.3 Technische prestaties van ondergrondse kabels

6.3.1 Maturiteit van de technologie

Voor moderne ondergrondse kabels wordt een hoogwaardig isolatiemateriaal gebruikt, verknoopt polyethyleen (XLPE) genaamd.

De XLPE-kabeltechnologie wordt sinds het eind van de jaren 1990 gebruikt en is dus een vrij mature technologie met ongeveer 20 jaar aan gegevens.

6.3.2 Elektrisch effect op het net

Als gevolg van de extra isolatie rond een kabel houden wisselstroomkabels een deel van de energie die ze vervoeren vast, en slaan ze die energie op. Hoe langer de kabel is, hoe meer energie hij vasthoudt. Dit effect staat bekend als ‘elektrische capaciteit’. Zowel bovengrondse leidingen als ondergrondse kabels voegen elektrische capaciteit toe aan het net; maar door de fysieke constructie en installatie van een kabel is het effect veel groter bij systemen met ondergrondse kabels.

De elektrische capaciteit van een kabel resulteert in een constante stroming van laadstroom die evenredig is met de lengte van de kabel en de spanning van het systeem. Het vermogen van het kabelcircuit om nuttige stroom over te brengen, wordt beperkt omdat de laadstroom capaciteit gebruikt. Deze laadstroom kan bovendien ongewenste spanningsveranderingen op het transmissienet veroorzaken. De opgeslagen energie is evenredig met het kwadraat van de bedrijfsspanning. Daarom is het effect van deze stromen veel groter voor kabels van 380 kV dan voor kabels met lagere spanningen.

Door deze effecten kunnen grote lengten aan ondergrondse kabels technische problemen veroorzaken, en zijn er begrenzingen aan de maximumlengte aan kabels die praktisch in een transmissienet kan worden geïnstalleerd. De maximumlengte hangt af van de specifieke net- en kabelsysteemparameters en zal voor elk specifiek geval verschillend zijn.

Wanneer systemen met lange ondergrondse kabels in overweging worden genomen, moet in een vroege plannings- en ontwerpfase rekening worden gehouden met de volgende kwesties inzake technische prestaties.

6.3.2.1 Toekomstige uitbreiding van de capaciteit

De uitbreiding van de capaciteit vermogen van een circuit van ondergrondse kabels is duur, omdat daarvoor extra kabels in de grond moeten worden aangebracht en de bijbehorende civieltechnische werkzaamheden moeten worden uitgevoerd. Ter vergelijking:

voor de uitbreiding van een bovengrondse leiding kan een geleider worden vervangen door een grotere maat of een andere structuur, zodat de leiding in sommige gevallen betrekkelijk gemakkelijk opnieuw kan worden geconfigureerd.

6.3.2.2 Uitbalancering van de energiestroom

Circuits van ondergrondse kabels vervoeren vaak een groter deel van de energiestroom dan een parallelle bovengrondse leiding. Het kan nodig zijn om extra apparatuur te installeren om het onevenwicht te regelen. Speciale apparatuur zoals reactoren of faseverschuivingstransformatoren kan worden gebruikt om de energiestroom door de parallelle circuits te beheren.

6.3.2.3 Systeemstoringsniveau

De installatie van circuits van ondergrondse kabels kan tot een verhoging leiden van het energieniveau van het transmissienet, of van het storingsniveau. Wanneer dit gebeurt, kan apparatuur op het net te maken krijgen met energieniveaus die de veiligheidsdrempel overschrijden. Dit kan de installatie vereisen van extra apparatuur om het energieniveau te begrenzen, of de vervanging nodig maken van bestaande apparatuur die door de verandering wordt getroffen.

6.3.2.4 Reactieve stroomcompensatie

Zoals eerder besproken, hebben circuits van ondergrondse kabels een hogere elektrische capaciteit dan equivalente circuits van bovengrondse leidingen. Om dit effect te compenseren en om de nuttige-stroomcapaciteit van het circuit te handhaven, is soms speciale apparatuur nodig die bekendstaat als reactieve compensatie.

De behoefte aan reactieve compensatie hangt af van de elektrische kenmerken van de installatie en van het systeem waarin de installatie wordt geplaatst.

6.3.2.5 Spanningsprofiel en tijdelijke overspanningen

De reactieve stroom die door een kabelsysteem wordt opgewekt, beïnvloedt het spanningsprofiel erlangs. De in- en uitschakeling van circuits van lange kabels kan aanzienlijke stapveranderingen in de spanning veroorzaken. Deze stapveranderingen moeten worden beperkt om de verstoring voor verbruikers te beperken. Reactieve compensatie is soms nodig om de spanning binnen de grenzen te houden.

6.3.2.6 Harmonische vervorming

Een toename van het aandeel ondergrondse kabels in een net verhoogt het risico op een probleem met de stroomkwaliteit dat bekendstaat als harmonische vervorming. De daaruit voortvloeiende vervorming van de stroom kan de kwaliteit van de stroomvoorziening aan de klanten beïnvloeden.

Het risico dat aan dit probleem met de stroomkwaliteit is verbonden, is moeilijk te kwantificeren. De mate van vervorming is moeilijk te bestuderen omdat daarvoor gedetailleerde informatie over het bestaande transmissienet nodig is, en er voorspellingen moeten worden gedaan over toekomstige ontwikkelingen van het net die het vervormingseffect kunnen verergeren.

Er kan speciale apparatuur, harmonische filters genaamd, nodig zijn om de vervormingsniveaus te verlagen.

6.3.2.7 Schakeling van circuits

Capacitieve laadstromen die in kabelcircuits stromen, leggen een zware last op vermogensschakelaars die worden gebruikt om het circuit in en uit te schakelen.

Er moet voor worden gezorgd dat het kabelsysteem geen omstandigheden veroorzaakt waarin de nominale waarde van de vermogensschakelaars en de bijbehorende apparatuur wordt overschreden.

6.3.2.8 Black start

Er moet rekening worden gehouden met de potentiële noodzaak om een relatief zwak systeem via een circuit van lange kabels onder spanning te brengen, zoals in een black-startscenario. Door de elektrische impact van de kabel op het transmissiesysteem zal dit waarschijnlijk tot een tijdelijke overspanning buiten de toegestane grenzen leiden.

6.3.3 Complexiteit van het systeem

De complexiteit van het kabelsysteem hangt grotendeels af van de behoefte aan corrigerende apparatuur, zoals reactieve compensatie en harmonische filters, en van de mate waarin ze nodig is.

Corrigerende apparatuur is mogelijk niet nodig voor korte kabellengten, of wanneer de kabel is geïnstalleerd in zeer sterke systemen.

Wanneer reactieve compensatie en/of filters nodig zijn, bestaat de meest eenvoudige oplossing erin om de apparatuur aan de onderstations aan elk uiteinde van het circuit te installeren.

Voor langere circuits kan de apparatuur nodig zijn op de middelpunten van het circuit, of op verschillende plaatsen langs het traject. Er zouden speciale compounds nodig zijn om de apparatuur in onder te brengen.

Voor circuits van zeer lange kabels, waar grootschalige middelpuntcompensatie en filtering nodig is, wordt de complexiteit van het systeem aanzienlijk vergroot. Er kunnen ook speciale regelsystemen nodig zijn om de werking van de apparatuur te regelen op basis van de reële tijd status van het net.

6.3.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen

Zoals bij bovengrondse wisselstroomleidingen is het eenvoudig om toekomstige aansluitingen op een bestaande ondergrondse wisselstroomkabel te voorzien via standaard aansluitconfiguraties.

6.3.5 Beschikbaarheid en betrouwbaarheid

Over het algemeen zijn circuits van XLPE-kabels betrouwbaar en kennen ze een laag percentage ongeplande storingen. Er kunnen zich echter gevallen voordoen waarin een circuit uitvalt en moet worden gerepareerd. Om kabelstoringen te verhelpen, moet de schade worden gelokaliseerd, het defecte gedeelte van de kabel worden verwijderd en een vervangend gedeelte worden aangebracht (waarvoor nieuwe verbindingen moeten worden gemaakt). Voor kabelsystemen van 380 kV kunnen reparaties een dure en tijdrovende aangelegenheid zijn en een aanzienlijk effect hebben op de beschikbaarheid van het circuit.

Er zijn twee hoofdoorzaken van kabelstoringen:

- Defect onderdeel binnen het isolatiesysteem ten gevolge van een fabricage- of installatiefout
- Schade door een derde, meestal een aannemer die graafwerken uitvoert in verband met een ander project

Kabels kunnen ook worden beschadigd door aanhoudende elektrische overbelasting, hoewel die gevallen zelden voorkomen.

Het risico dat deze gebeurtenissen zich voordoen, is niet gemakkelijk te beheersen en de veerkracht van het transmissienet kan erdoor worden aangetast.

Reparaties aan kabels vereisen uitgravingen en schone en droge omstandigheden voor de samenvoeging. Nat weer kan de toegang tot de kabel beperken en de reparatietijd van de kabel beïnvloeden.

Gegevens over de operationele prestaties voor geïnstalleerde kabelsystemen zijn niet op grote schaal beschikbaar. CIGRE publiceerde in 2009 statistieken over kabelsysteemstoringen, die door JICABLE in 2011 werden bijgewerkt voor systemen van 380 kV.

Tabel 6: Storingsgraden van kabels en accessoires

	Storingsgraad volgens CIGRE[5]	Minimale storingsgraad volgens JICABLE[6]	Maximale storingsgraad volgens JICABLE[2]
	Per 100 accessoirejaren of 100 circuit-km-jaren	Per 100 accessoirejaren of 100 circuit-km-jaren	Per 100 accessoirejaren of 100 circuit-km-jaren
Kabel	0,133	0,079	0,120
Verbinding	0,026	0,016	0,035
Kabeleindsluiting	0,032	0,092	0,168

Deze cijfers zijn aanzienlijk lager dan zou worden verwacht voor een vergelijkbare bovengrondse leiding, wat betekent dat de kans kleiner is dat kabels defect raken. Kabelstoringen zijn echter zelden tijdelijk en het duurt langer om een storing in een ondergrondse kabel op te sporen en te verhelpen dan in een bovengrondse leiding. De reparatieduur voor een kabel van 380 kV aan land zal waarschijnlijk tussen de twee weken en één maand liggen, afhankelijk van de plaats van de storing.

Een ander punt dat moet worden opgemerkt, is dat de storingsgraden worden uitgedrukt per 100 accessoirejaren of per 100 circuit-km-jaren. Wanneer een kabelsysteem dus meerdere aders per fase vereist, moeten de storingsgraden dienovereenkomstig worden aangepast. Als een circuit bijvoorbeeld is geïnstalleerd met drie geleiders per fase, moet de traject-km met drie worden vermenigvuldigd om het juiste circuit-km-cijfer te verkrijgen. Evenzo moet het aantal in overweging te nemen verbindingen en kabeleindsluitingen met drie worden vermenigvuldigd om de in aanmerking te nemen storingsgraad vast te stellen.

6.3.6 Beheer en onderhoud

Het geplande onderhoud van een traject van ondergrondse kabels omvat het beheer van de vegetatie langs het traject en de inspectie en beproeving van de onderdelen van het kabelsysteem.

6.4 Milieu-impact van ondergrondse kabels

De installatie van transmissiekabels heeft een aanzienlijk geringer visueel effect dan bovengrondse leidingen; ondergrondse kabels hebben echter hun eigen milieu- en landschapsafwegingen.

6.4.1 Grondgebruik

Wanneer grond wordt gebruikt voor landbouwdoeleinden, of in open veld- en heidehabitats, zal er waarschijnlijk geen noemenswaardige beperking zijn zodra het herstel is voltooid.

Door het gebruik van inheems opvulmateriaal kan de vegetatie met ondiepe wortels over het traject worden hersteld en kan de grond in sommige gevallen weer volledig in zijn oorspronkelijke staat en gebruik worden teruggebracht.

Het is niet toegestaan om bomen te planten boven ondergrondse kabels, omdat diepe wortelstelsels schade aan de kabels kunnen veroorzaken.

Boven ondergrondse kabels mag niet worden gebouwd.

6.4.2 Ecologie

Zoals in sectie 6.1 wordt beschreven, kunnen voorzieningen voor bouwactiviteiten resulteren in een corridorbreedte van maximaal 80 m.

[5] Update van gebruikservaring van ondergrondse en onderzeese HS-kabelsystemen, TB 379, Werkgroep B1.10, CIGRE 2009

[6] Gebruikservaringen in verband met storingen van XLPE-grondkabels van 380 kV, document A.3.7, JICABLE, 2011

Zoals bij de bouw van bovengrondse leidingen zijn de ecologische bekommernissen onder meer de vernietiging van vegetatie en graafwerken tijdens de bouw. Werkzaamheden voor de installatie van kabels kunnen aanzienlijke gevolgen hebben voor het landschap door het kappen van bomen, hagen, stukken bos en andere vegetatie langs het traject. De verstoring van de habitat is intensiever voor installaties van ondergrondse kabels dan voor bovengrondse leidingen.

Tijdens de aanleg worden grote hoeveelheden aarde en grond verwijderd om de ingraving van de ondergrondse kabels te vergemakkelijken. Dit kan vele malen de hoeveelheid zijn die voor een equivalente bovengrondse leiding wordt verwijderd.

6.4.3 Elektrische en magnetische velden

Zie sectie 5.4.4 van het rapport voor een beschouwing van de elektrische en magnetische velden van bovengrondse wisselstroomleidingen en ondergrondse wisselstroomkabels.

6.5 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor ondergrondse kabels

De duur van de ontwikkeling van een typische ondergrondse kabel is vergelijkbaar met die van de ontwikkeling van een bovengrondse leiding en neemt verschillende jaren in beslag.

De ontwikkeling van ondergrondse kabels zal waarschijnlijk op minder verzet van het publiek stuiten. Het verkrijgen van toestemming van de landeigenaar en van grondrechten kan echter moeilijker zijn dan voor een equivalente bovengrondse leiding, omdat bij de aanleg over de volledige lengte van het kabeltraject meer vegetatie moet worden vernietigd en grond moet worden uitgegraven. Ter vergelijking: voor een bovengrondse leiding is de toegang voornamelijk nodig op de plaats van de masten. Bovendien is het mogelijk niet eenvoudig om het traject van een kabel aan te passen aan de voorkeuren van de landeigenaar, wat een overeenkomst kan bemoeilijken.

Gezien de elektrische effecten van de installatie van lange lengten aan kabels van 380 kV (uiteengezet in sectie 6.3.2), is het waarschijnlijk dat uitgebreide studies en simulaties nodig zouden zijn om de haalbaarheid van een kabelinstallatie al dan niet te bevestigen, en om een gedetailleerd technisch ontwerp uit te voeren. Deze procedure zou moeten worden voltooid vóór het begin van de vergunningsprocedure en zou het aan het sluiten van een overeenkomst voorafgaande engineeringprogramma langer laten duren.

Voor de ondergrondse aanleg van de Elia-stroomcorridor zou 18 km aan enkelfasige ondergrondse kabels van 380 kV per km traject nodig zijn. De aanschaf van de hoeveelheid kabels die nodig zijn voor de ondergrondse aanleg van een aanzienlijke lengte van het traject, zou dus een aanzienlijk risico inhouden. Ook het aantrekken van het aantal geschoolde kabelmonteurs dat nodig is om een aanzienlijke lengte aan ondergrondse kabels te installeren, zou een risico voor het project betekenen.

6.6 Kosten gedurende de volledige levensduur van een ondergrondse kabel

De kosten van het beheer, het onderhoud en vermogensverliezen gedurende de levensduur van een wisselstroomtransmissiecircuit zijn in grote lijnen dezelfde voor bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels.

Ondergrondse kabels zijn altijd aanzienlijk duurder om aan te leggen dan equivalente bovengrondse leidingen.

De belangrijkste elementen van dit kostenverschil zijn te wijten aan de betrekkelijk hogere kosten van de kabel zelf en de kosten van de civieltechnische werkzaamheden die nodig zijn om de kabels in de grond te installeren.

Veel factoren zijn van invloed op de kosten van de installatie van een ondergrondse kabel,

zoals de capaciteit en de lengte van het circuit, het terrein, het grondgebruik en de bodemgesteldheid langs het traject, en natuurlijke en door de mens veroorzaakte obstakels.

De totale bouwkosten omvatten:

- Kabelterminalcompounds (levering en montage van een kabelafdichtingscompound aan elk uiteinde van het traject)
- Kabeleindsluitingen en -beproeving (levering, montage en beproeving van buiteneindsluitingen in de compounds aan beide uiteinden van het traject)
- Kabelsysteemmaterialen (alle kabels, verbindingen, aardings- en verbindingsmateriaal)
- Kabelinstallatie
- Reactieve compensatie
- Harmonische filters
- Project starten en beheren (trajectonderzoeken, bodemmonsters, voorontwerp / haalbaarheid van het traject, bekendmaking, kennisgevingen, overleg met belanghebbenden, onderhandelingen over toegang tot de grond en de aankoop van erfdienstbaarheden, toezicht ter plaatse, met de installatie belaste ingenieurs)

De bedrijfskosten omvatten:

- Elektrische verliezen in de geleider
- Beheer- en onderhoudsactiviteiten

In een kostenberekeningsstudie[7] uit 2012, die in opdracht van de Britse regering werd uitgevoerd, werden de kosten gedurende de levensduur berekend op 25,1 miljoen EUR[8] per km voor een ondergrondse kabel van 380 kV met de capaciteit en lengte die nodig zijn voor het project Toekomstig Elia-net 2030. Dat is ongeveer vijf keer zoveel als de kosten van een equivalente bovengrondse leiding.

Informatie over de eenheidskosten die in 2015 door National Grid [9] werd verstrekt, geeft een kostprijs per km van 7,3-8,9 miljoen EUR[10] voor de levering en 4,7-7,7 miljoen EUR[11] voor de installatie, of 12,0-16,6 miljoen EUR per km in totaal. Deze schatting is exclusief de kosten van elektrische verliezen en beheer- en onderhoudsactiviteiten of de reactieve compensatie en harmonische filtering die nodig zouden zijn om lange lengten aan ondergrondse kabels aan te leggen, zoals wordt vereist door het project Toekomstig Elia-net 2030, en onderschat dus de totale projectkosten. Op basis van een diëlektrische capaciteit van 0,23 µF per kabel per km zou het project ongeveer 67 MVAr aan reactieve compensatie per km vereisen voor een volledige compensatie van de elektrische kabelcapaciteit. Uitgaande van een kostprijs van 6 miljoen EUR per reactor van 200 MVAr, geeft dit een extra kostprijs van bijna 2 miljoen EUR per km voor reactieve compensatie. De kosten van harmonische filtering zouden daar nog bij komen.

6.7 Samenvatting van ondergrondse kabels

Ondergrondse kabels hebben een geringer visueel effect dan bovengrondse leidingen en kunnen daarom geschikt zijn voor milieugevoelige gebieden. In sommige gevallen zijn ondergrondse kabels de enige haalbare oplossing, bijvoorbeeld door stedelijke gebieden; de aanleg van kabels van 380 kV vereist echter een brede corridor en kan tot een aanzienlijk en permanent effect op het landschap en tot een aanzienlijke verstoring tijdens de aanleg leiden.

Er gaan een aantal technische uitdagingen gepaard met de aansluiting van lange lengten aan kabels in transmissienetten. Veel van deze uitdagingen kunnen worden overwonnen door de installatie en regeling van extra apparatuur, zoals reactieve compensatie en harmonische filters.

[7] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[8] 20,4 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2012 van 1,233 EUR/GBP

[9] Electricity Ten Year Statement, National Grid, 2015

[10] ((0,896-1,095) x 6) miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

[11] ((0,58-0,95) x 6) miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

De invoering van deze apparatuur leidt echter tot een grotere complexiteit van het systeem, het risico van verminderde beschikbaarheid en hogere kosten.

De toename van harmonische vervorming ten gevolge van de installatie van kabels is moeilijk te kwantificeren en vormt daarom een groot risico.

De aanschaf van de hoeveelheid kabels en geschoolde kabelmonteurs die nodig zijn voor de ondergrondse aanleg van een groot deel van het traject, zou een aanzienlijk risico inhouden.

Een oplossing met ondergrondse kabels zou aanzienlijk duurder zijn dan een equivalente bovengrondse leiding.

De ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de corridors Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum wordt daarom niet als een haalbare oplossing beschouwd.

7 Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse wisselstroomleiding

Zoals wordt besproken in hoofdstuk 6, gaan met systemen met zeer lange ondergrondse kabels van 380 kV een aantal problemen gepaard in verband met de technische prestaties, het programma, de aanschaf en het personeel. De volledige ondergrondse aanleg van de corridors Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum wordt daarom niet als een haalbare oplossing beschouwd.

De term gedeeltelijk ondergrondse aanleg verwijst naar een circuit van bovengrondse leidingen waarvan een korte sectie of secties ondergronds word(t)(en) aangelegd. Een gedeeltelijk ondergrondse aanleg is technisch haalbaar en kan worden overwogen in specifieke gebieden die aanzienlijk zouden worden getroffen door de aanleg van een bovengrondse leiding.

Zie hoofdstukken 5 en 6 voor de bespreking van de veiligheid, de technische prestaties, de milieu-impact en het plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels, en de kosten gedurende de volledige levensduur die van toepassing zouden zijn op een gedeeltelijk ondergronds aangelegde oplossing.

Voor de bepaling van de maximumlengte aan ondergrondse kabels die technisch haalbaar zou zijn, zijn studies en simulaties nodig. Het is daarom niet mogelijk om in deze fase de maximaal toegestane lengte van een gedeeltelijk ondergrondse aanleg aan te geven. In een recente internationale studie[12] waarin een specifiek geval in het Deense transmissienet werd bekeken, werd geconcludeerd dat de maximumlengte aan ondergrondse kabels van 380 kV in het circuit van bovengrondse leidingen niet meer dan 15% van de totale circuitlengte mag bedragen. Het Deense kabelontwerp was voor twee kabels per fase en was in dat opzicht daarom minder belastend dan het project Toekomstig Elia-net 2030. Zoals in sectie 6.3.2 is aangegeven, zal de maximumlengte voor een bepaald geval variëren op basis van de specifieke net- en kabelsysteemparameters.

De gasgeïsoleerde leiding wordt besproken in sectie 8.1. Hoewel er geen ervaring is met gasgeïsoleerde leidingen over lange afstanden, zou het gebruik van gasgeïsoleerde leidingen voor de ondergrondse aanleg van korte secties van een gedeeltelijk ondergronds aangelegde oplossing (vooral wanneer één uiteinde in een onderstation eindigt) technisch haalbaar zijn en kunnen worden overwogen.

Waar de bovengrondse leiding overgaat in een kabel, wordt de bovengrondse leiding aan elk uiteinde van de ondergrondse kabelsectie afgesloten. Er is een grote compound nodig om de kabelterminals in onder te brengen, samen met andere apparatuur die nodig is om de aansluiting tussen het bovengrondse en het ondergrondse systeem te vergemakkelijken. Een typische compound voor kabelterminals van 380 kV meetblack 45 m x 65 m.

[12] Technical Issues Related to New Transmission Lines in Denmark, Energinet, Doc. 18/04246-24

8 Alternatieve ondergrondse technologieën

8.1 Gasgeïsoleerde leiding

In sommige gevallen is een gasgeïsoleerde leiding een haalbaar alternatief voor bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels. De meeste toepassingen van gasgeïsoleerde leidingen gaan over korte afstanden en worden bovengronds geïnstalleerd in gebieden die niet voor het publiek toegankelijk zijn, zoals elektriciteitscentrales of onderstations.

Gasgeïsoleerde leidingen kunnen bovengronds worden geïnstalleerd, ondergronds worden ingraven of in sleuven of tunnels worden aangelegd, en zijn dus een alternatief voor conventionele kabels. In vergelijking met kabels bieden ze de volgende voordelen:

- Lagere elektrische verliezen.
- Hogere nominale vermogens per 'kabel', waardoor de breedte van de stroomcorridor mogelijk kleiner wordt.
- De energieopslag in de interne elektrische capaciteit is veel geringer dan bij een equivalente kabel, zodat veel langere lengten kunnen worden toegepast voordat de technische grenzen van het systeem worden overschreden (ook geholpen door het geringere aantal 'kabels' dat nodig is).
- Het risico van harmonische versterking wordt aanzienlijk verkleind.

Er zijn echter geen projecten met gasgeïsoleerde leidingen met aanzienlijke trajectlengten in gebruik of in aanbouw, waarbij de maximale geïnstalleerde trajectlengte ongeveer 3,25 km bedraagt (het Japanse project Shinmeika - Tokai).

De meest omvangrijke installatie van ingegraven gasgeïsoleerde leidingen is een installatie van 380 kV bij de luchthaven van Frankfurt in Duitsland, die twee circuits omvat met telkens een trajectlengte van 900 m en een nominaal vermogen van 1800 MVA.

Hoewel het technisch mogelijk is om een transmissiecapaciteit van 3 GW per circuit te voorzien, is er geen ervaring met gasgeïsoleerde leidingen over lange afstanden. Een trajectlengte van 100 km kan als zodanig gepaard gaan met tot nu toe onbekende technische en bouwtechnische uitdagingen. De technologie wordt daarom niet voldoende matuur geacht om te worden ingezet als onderdeel van een kritiek netverzwaringsproject, en bijgevolg worden gasgeïsoleerde leidingen over een lange afstand verder buiten beschouwing gelaten in dit rapport.

Het gebruik van gasgeïsoleerde leidingen voor de ondergrondse aanleg van korte secties van een gedeeltelijk ondergronds aangelegde oplossing zou technisch haalbaar zijn en kunnen worden overwogen.

In de kostenberekeningsstudie[13] uit 2012, die in opdracht van de Britse regering is uitgevoerd, werden de kosten gedurende de levensduur berekend op ongeveer 20,0 miljoen EUR[14] per km voor korte lengten aan direct ingegraven gasgeïsoleerde leidingen, hoewel deze schatting betrekking heeft op een kleinere capaciteit dan de capaciteit nodig is voor het project Toekomstig Elia-net 2030.

8.2 Supergeleidende kabel

De weerstand tegen de elektriciteitsstroom in een geleider neemt toe met de temperatuur. Als een geleider afkoelt, daalt de weerstand. Als een koperen geleider afkoelt tot bijna het absolute nulpunt (-273 ºC), daalt de elektrische weerstand tot bijna nul.

[13] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[14] 16,2 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2012 van 1,233 EUR/GBP

Dit betekent dat hoge stroomsterkten kunnen stromen zonder noemenswaardige elektrische weerstandsverliezen te veroorzaken, en dat de noodzaak om de warmte af te voeren die door deze verliezen wordt opgewekt, vrijwel vervalt. Deze toestand van vrijwel verliesloze transmissie wordt algemeen omschreven als ‘supergeleiding’.

Het is niet praktisch om de temperatuur van een kabel dicht bij het absolute nulpunt te houden, en onderzoekers zijn al vele jaren bezig met de ontwikkeling van bij hoge temperaturen supergeleidende materialen met een zeer lage weerstand bij haalbare temperaturen. De constructie van een supergeleidende kabel lijkt op die van een conventionele kabel, maar de koper- of aluminiumdraden worden voor het stroomvervoer vervangen door tapes die van deze bij hoge temperaturen supergeleidende materialen gemaakt zijn. De supergeleidende tapes bestaan uit een metalen substraat en een oxidekeramisch materiaal dat vrijwel perfecte stroomgeleidende eigenschappen vertoont wanneer het tot temperaturen van minder dan -180 °C wordt afgekoeld. Een dergelijke supergeleidende tape kan stroomdichtheden overbrengen die meer dan honderd keer groter zijn dan de stroomvoercapaciteit van een koperen geleider met dezelfde doorsnede. De geleiders zijn omhuld met hoogspanningsisolatie die bestand is tegen lage temperaturen, en omgeven door een supergeleidend scherm dat voor elektromagnetische afscherming zorgt. Vloeibare stikstof koelt de kabelkern af tot zijn bedrijfstemperatuur van ongeveer - 200 °C.

Om een stroomtransmissiesysteem op een dergelijk lage temperatuur te houden, zijn speciale cryogene installaties nodig die moeilijk te bedienen en te onderhouden zijn, en die een kabelsysteem aanzienlijk complexer zouden maken.

Vorderingen in de toepassing van supergeleiders bij hoge temperaturen op kabels heeft de bouw van enkele proefprojecten met een korte lengte mogelijk gemaakt. Een van de belangrijkste is het project ‘AmpaCity’ in Essen, dat in een 1 km lang kabelsysteem voorziet dat 40 MVA (2310 A) bij 10 kV kan vervoeren. Deze proefprojecten blijven ver achter bij de circuitlengte en de stroomcapaciteit die nodig zijn voor het project van het toekomstige Elia-net.

De supergeleidingstechnologie is nog in ontwikkeling en hoewel er een aantal kleinschalige proeven in distributienetten aan de gang zijn, is ze nog ver verwijderd van toepassing in een operationeel transmissienet. Daarom wordt in het rapport niet verder ingegaan op de technologie.

9 HVDC als alternatief voor HVAC

Het bestaande net in België is een hoogspanningswisselstroomsysteem (HVAC-systeem, waarbij HVAC voor 'High Voltage Alternating Current' staat). Elk nieuw transmissieproject waarbij HVAC wordt gebruikt, zou dus een uitbreiding van de bestaande technologie zijn.

HVDC biedt technische voordelen ten opzichte van HVAC in de volgende gevallen:

1. Transmissie tussen stroomsystemen die niet zijn gesynchroniseerd
2. Hoge stroomtransmissie over zeer lange afstanden
3. Gebruik van onderzeese kabels, of vergemakkelijking van de ondergrondse aanleg van een transmissiecircuit
4. Wanneer een volledige en variabele regeling van de energiestroom is vereist, d.w.z. voor de interconnectie tussen netten

9.1 HVDC-configuratie

Over het algemeen kan de convertor die voor HVDC-transmissie wordt gebruikt, worden ingedeeld als stroombron of spanningsbron.

De meest recente voorschriften voor nieuwe HVDC-systemen in Europa eisen een soepele spanningsregeling. Bijgevolg zullen alle nieuwe HVDC-interconnectoren in Europa naar verwachting van het type spanningsbronconvertor ('Voltage Source Converter', VSC) zijn. Alleen de VSC-technologie zal in het rapport in aanmerking worden genomen.

In het kader van het project Toekomstig Elia-net 2030 zou het gebruik van HVDC alleen worden overwogen om de ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de stroomcorridor te vergemakkelijken. Vandaar dat alleen ondergrondse HVDC-kabels in aanmerking zullen worden genomen.

HVDC-systemen kunnen op drie manieren worden geconfigureerd:

- Punt-tot-puntconfiguratie
- Rug-aan-rugconfiguratie
- Configuratie met meerdere terminals

9.1.1.1 Punt-tot-puntconfiguratie

De meeste HVDC-systemen hebben een punt-tot-puntconfiguratie. Stroom wordt overgebracht tussen twee punten in een HVAC-net. Bijna alle geïnstalleerde HVDC-interconnectoren hebben slechts twee terminals.

9.1.1.2 Rug-aan-rugconfiguratie

Bij HVDC met een rug-aan-rugconfiguratie bevinden twee convertoren zich op dezelfde plaats in één gebouw en is er geen bovengrondse gelijkstroomleiding of ondergrondse gelijkstroomkabel. Rug-aan-rugsystemen worden over het algemeen gebruikt voor de aansluiting van HVAC-systemen die met verschillende frequenties werken, of voor de aansluiting van niet-gesynchroniseerde systemen. Deze configuratie is niet geschikt voor de voorgestelde stroomcorridor en wordt verder buiten beschouwing gelaten in het rapport.

9.1.1.3 Configuratie met meerdere terminals

HVDC met een configuratie met meerdere terminals heeft meer dan twee terminals.

9.2 HVDC-topologie

HVDC-topologieën omvatten:

- Enkelpolig
- Tweepolig
- Symmetrisch enkelpolig

De meeste geïnstalleerde VSC HVDC-systemen in de wereld zijn symmetrisch enkelpolig. Deze topologie is ontworpen om te werken met een totale transmissiespanning die dubbel zo hoog is als de nominale leiding-aardespanning van de leidingen of kabels. Voor een leiding-aardecapaciteit van 500 kV is de transmissiespanning bijvoorbeeld 1000 kV, aangezien één leiding onder +500 kV werkt en de andere onder -500 kV.

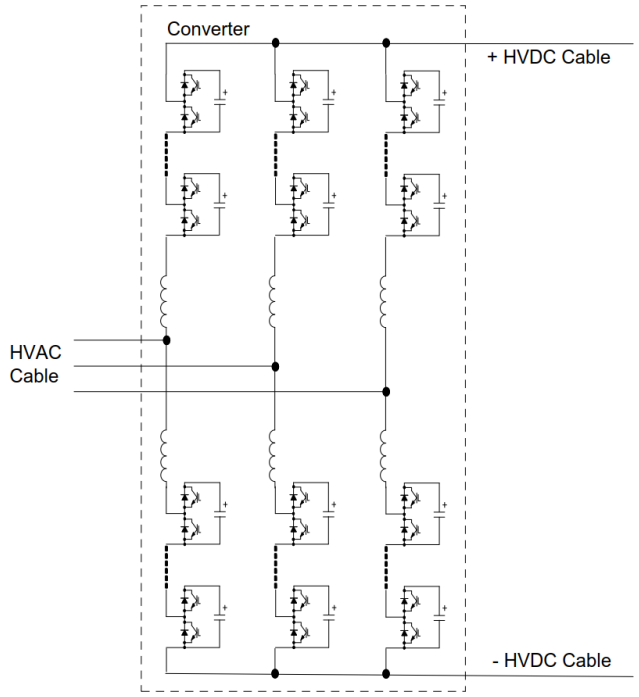
Een enkelpolige topologie werkt alleen met één leiding onder hoogspanning (de retourleiding staat onder aardpotentiaal). Voor een leiding-aardcapaciteit van 500 kV is de transmissiespanning dus beperkt tot 500 kV. In sommige omstandigheden is het mogelijk om enkelpolige verbindingen tot stand te brengen waarbij de grond of de zee als retourgeleider wordt gebruikt; aan dit type verbindingen is echter een aantal technische beperkingen verbonden en ze worden niet geschikt geacht voor toepassing in ontwikkelde gebieden.

Een tweepolige topologie zorgt voor wat extra technische complexiteit (in vergelijking met een symmetrisch enkelpolig ontwerp), maar biedt een zekere mate van redundantie in geval van een apparatuurstoring. Gezien de nominale vermogens die voor het toekomstige elektriciteitsnet van Elia vereist zijn, rechtvaardigen de voordelen van deze extra redundantie de grotere technische complexiteit mogelijk niet.

In het rapport zal alleen de symmetrische enkelpolige topologie worden besproken (hoewel de toepassing van een tweepolige topologie alleen gevolgen zou hebben voor het ontwerp van het convertorstation).

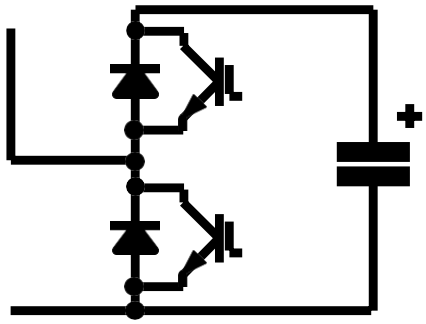
De huidige generatie VSC-convertoren met hoog vermogen is gebaseerd op een meerlagenontwerp, zoals te zien is in figuur 12.

Figuur 12: Symmetrische enkelpolige modulaire VSC-meerlagenconvertor



Elke arm van een modulaire meerlagenconvertor bestaat uit vele eenheden (submodules of cellen), die in figuur 13 hieronder te zien zijn:

Figuur 13: Eenheid van een modulaire meerlagenconvertor



Elke eenheid kan onafhankelijk worden geregeld. De gelijkstroomspanning wordt gekozen door het aantal in het circuit geschakelde eenheden te regelen.

9.3 HVDC installatie

Om te voldoen aan de capaciteit van 6 GW die nodig is voor de 'Toekomstig Elia-net 2030'-stroomcorridor, zal waarschijnlijk de hoogste beschikbare bewezen gelijkstroomspanning worden gekozen. Momenteel zijn er twee HVDC-verbindingen met een nominale spanning van 500 kV in aanbouw en worden andere verbindingen overwogen. Waarschijnlijk zal deze technologie op tijd haar deugdelijkheid bewijzen om in aanmerking te komen voor het project Toekomstig Elia-net 2030.

Het grootste nominale vermogen van één symmetrische monopool in gebruik is 1 GW, maar hogere nominale vermogens zijn in aanbouw. Twee systemen van 500 kV in aanbouw hebben een nominaal vermogen van 1400 MW en zullen naar verwachting ergens in de loop van volgend jaar in gebruik worden genomen. Deze maximumvermogensgrens wordt bepaald door de maximaal toegestane storing in één circuit in Scandinavië, niet door de HVDC-technologie. Leveranciers geven momenteel nominale vermogens voor één interconnector tot 2 GW op.

Het project Toekomstig Elia-net 2030 vereist een algemene redundantie in de verbindingen, zodat ten minste 3 GW kan worden bereikt met één HVDC-verbinding buiten dienst.

De capaciteit van 6 GW kan dus worden bereikt door ofwel 4 verbindingen van 1,5 GW ofwel 3 verbindingen van 2 GW die op 500 kV gelijkstroom werken.

Naar verluidt zijn er in China VSC-convertoren in aanbouw met een capaciteit tot 5 GW bij 800 kV (gelijk aan 3 GW bij 500 kV). Deze hogere nominale vermogens zijn buiten beschouwing gelaten vanwege het beperkte aantal leveranciers dat deze capaciteit kan bereiken.

9.3.1 HVDC-convertorstation

Het ontwerp van een HVDC-convertorstation is projectspecifiek en wordt bepaald door afzonderlijke systeemeisen.

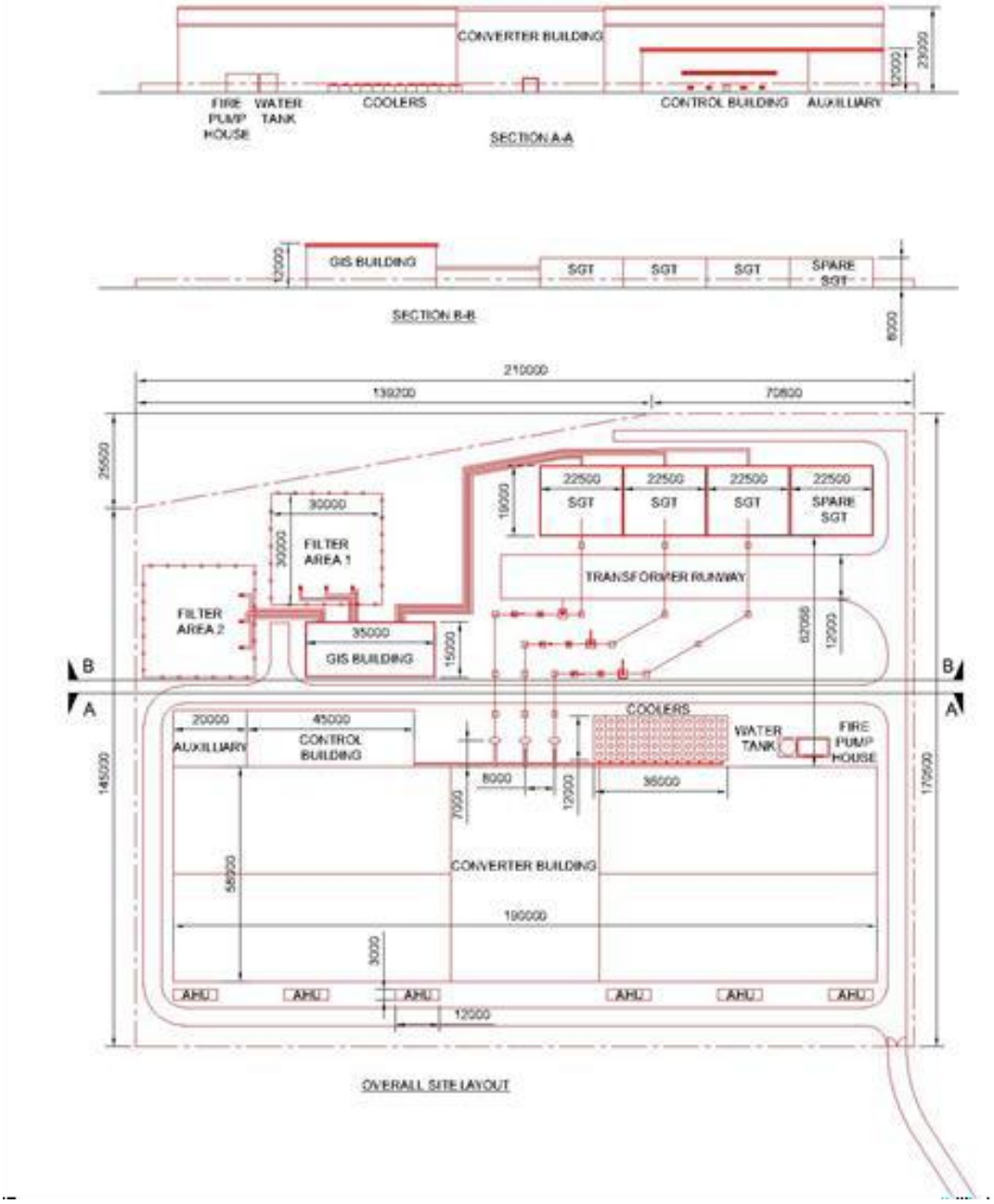
Er zijn verschillende leveranciers van VSC HVDC-systemen, elk met hun eigen ontwerpen voor een convertorstation, maar elk ontwerp is gebaseerd op dezelfde fundamentele beginselen.

De operationele gelijkstroomspanning is de dominante factor bij de bepaling van de grootte en de kosten van een convertorstation. Voor alle elektrische apparatuur met blootliggende delen onder spanning is een veilige afstand tot andere voorwerpen vereist. De afstand neemt toe met de spanning en kan meerdere meters bedragen, dus hoe hoger de spanning, hoe groter de ingenomen oppervlakte.

De convertorkleppen zijn opgebouwd uit modules met elk een maximale nominale spanning; hoe hoger de totale spanning, hoe meer modules er nodig zijn. De modules worden verticaal gestapeld, zodat de hoogte ook toeneemt met de spanning.

Eén convertorstation van 500 kV gelijkstroom zou ongeveer 210 m bij 175 m groot zijn. De gebouwen zouden ongeveer 50% van het terrein beslaan, met een maximumhoogte van ongeveer 23 m. Deze afmetingen zouden variëren naargelang van de grond en de toegang, en naargelang van de leverancier.

Figuur 14: Indicatieve indeling van een HVDC-convertorstation van 500 kV



De belangrijkste onderdelen worden hieronder voorgesteld.

9.3.1.1 Ruimte van het wisselstroomschakelmaterieel en de convertortransformatoren

Het wisselstroomschakelmaterieel en de convertortransformatoren regelen het wisselstroomvermogen en zetten het om.

Wisselstroomschakelmaterieel kan lucht- of gasgeïsoleerd zijn. Luchtgeïsoleerd schakelmateriaal is goedkoper, maar neemt meer plaats in. Gasgeïsoleerd schakelmaterieel is compacter, zodat het convertorstation minder plaats inneemt.

Aangezien gasgeïsoleerd schakelmaterieel duurder is, wordt het voornamelijk gebruikt voor projecten waarbij de ingenomen oppervlakte zo klein mogelijk moet zijn of de visuele impact beperkt moet blijven.

9.3.1.2 Filterruimte

Harmonische filters kunnen nodig zijn om de harmonische vervorming te verminderen en ervoor te zorgen dat het HVDC-systeem geen nadelige gevolgen heeft voor andere gebruikers van het transmissienet en belanghebbenden. De behoefte aan filtering varieert. In sommige gevallen, wanneer beperkte filtering is vereist, kan de apparatuur in de convertorgebouwen worden ondergebracht. Grotere filters kunnen grote buitencompounds vereisen. De filters worden geregeld door schakelmaterieel, vandaar dat een groter aantal filters de behoefte aan wisselstroomschakelmaterieel doet toenemen.

9.3.1.3 Reactorruimte

Wisselstroomreactoren worden gewoonlijk in serie met een VSC-convertortransformator aan de convertorzijde toegevoegd. De belangrijkste functie van de reactoren is de verlaging van de gelijkstroomenergieniveaus (foutstroom en piekinschakelstroom) in het systeem. De reactoren bevinden zich gewoonlijk binnen, naast de convertorklepruimten. Dit beperkt de invloed van het magnetische veld en het hoorbare geluid.

9.3.1.4 Klep- en gelijkstroomruimte

In deze ruimte bevinden zich vermogenselektronische convertormodules en gelijkstroomonderdelen. De convertorkleppen zijn opgebouwd uit vele aan elkaar gekoppelde modules die aan het zendende uiteinde wisselstroom in gelijkstroom en aan het ontvangende uiteinde gelijkstroom in wisselstroom omzetten. Het aantal modules hangt af van de gelijkstroombedrijfsspanning plus het aantal extra modules dat nodig is om voor redundantie en dus een betere beschikbaarheid en betrouwbaarheid te zorgen. De gelijkstroomonderdelen omvatten reactoren, apparaten voor de meting van stroom en spanning die worden gebruikt voor beveiliging en regeling, overspanningsbeveiligers die worden gebruikt om de omvormers tegen te hoge spanning te beschermen, gelijkstroomkabeleindsluitingen en schakelmaterieel om de systemen te isoleren en veilig te maken teneinde onderhoud te kunnen uitvoeren.

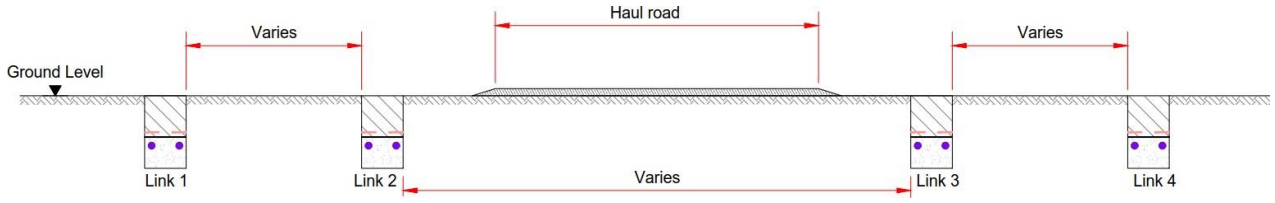
9.3.1.5 Andere ruimten en gebouwen

Behalve de grote ruimten die hierboven zijn beschreven, heeft een convertorstation nog verschillende andere kleinere ruimten nodig, waarvan de meeste kunnen worden opgenomen in het grote gebouw waarin de klepruimte is ondergebracht. Daartoe behoren ruimten voor regel-, beveiligings- en communicatieapparatuur, een regelkamer voor de operators, hulpvoorzieningen waaronder batterijen en batterijladers, airconditioningapparatuur, een koelinstallatie voor convertorkleppen, brandbestrijdingssystemen, opslagruimten en huishoudelijke diensten.

9.3.2 Installatie van een ondergrondse HVDC-kabel

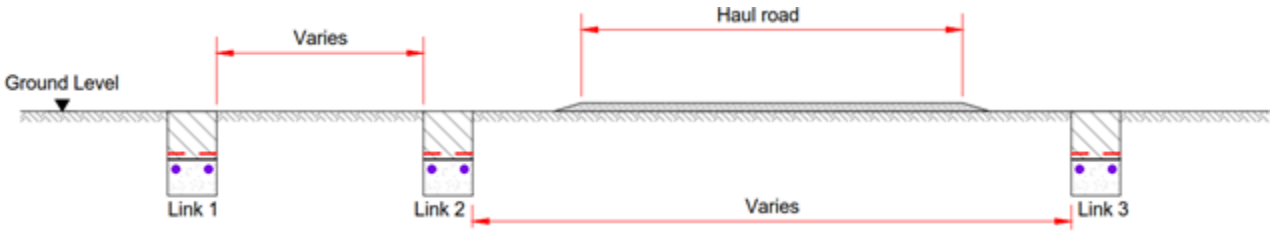
Om 4 x 1,5 GW via ondergrondse kabels van 500 kV gelijkstroom over te brengen, zouden vier HVDC-verbindingen nodig zijn, met telkens twee kabels per verbinding of 8 kabels in totaal.

Figuur 15: Indicatieve direct ingegraven installatie van 4 x 1,5 GW en 500 kV gelijkstroom met twee kabels per verbinding

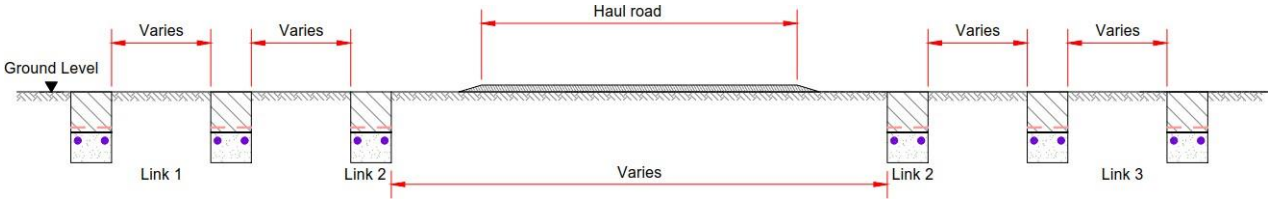


Om 3 x 2 GW via ondergrondse kabels van 500 kV gelijkstroom over te brengen, zouden drie HVDC-verbindingen nodig zijn. Met twee kabels per verbinding zou het vereiste nominale vermogen kunnen worden bereikt in een standaard direct ingegraven installatie, maar mogelijk zijn er vier kabels per verbinding nodig, afhankelijk van de bijzonderheden van het traject, met inbegrip van obstakels langs het traject.

Figuur 16: Indicatieve direct ingegraven installatie van 3 x 2 GW en 500 kV gelijkstroom met twee kabels per verbinding



Figuur 17: Indicatieve direct ingegraven installatie van 3 x 2 GW en 500 kV gelijkstroom met vier kabels per verbinding



9.4 HVDC-veiligheid

HVDC-technologie kan aan alle relevante veiligheidsnormen voldoen. De veiligheidsproblemen in verband met bovengrondse en ondergrondse gelijkstroominstallaties zijn vergelijkbaar met de wisselstroomequivalenten en worden besproken in paragrafen 5.2 en 6.2 van het rapport.

9.5 Technische prestaties van HVDC

9.5.1 Maturiteit van de technologie

VSC-technologie wordt al meer dan 20 jaar gebruikt en wordt daarom als een beproefde technologie beschouwd. Merk op dat deze gebruiksgeschiedenis geen ervaring met VSC-technologie van 500 kV en 2000 A omvat. Op basis van de tot dusver opgedane ervaring mag worden aangenomen dat de planning voor gebruik bij deze nominale spanning en stroomsterkte geen noemenswaardig risico zal inhouden.

9.5.2 Elektrisch effect op het net

De maximumlengte aan ondergrondse wisselstroomkabels is beperkt om de redenen die worden beschreven in sectie 5.3.2. Ondergrondse gelijkstroomkabels hebben niet te lijden onder dezelfde problemen inzake technische prestaties als wisselstroomkabels. In het kader van het project Toekomstig Elia-net 2030 zou het gebruik van HVDC de ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de stroomcorridor dus vergemakkelijken.

HVDC-convertoren kunnen echter andere operationele problemen opleveren.

De interactie tussen vermogenselektronische systemen en het wisselstroomtransmissienet is inherent niet-lineair, zodat convertoren harmonische vervorming kunnen opwekken. Dit is vooral een probleem bij LCC-convertoren met thyristorregeling, waarvoor een uitgebreide voorziening van harmonische filters nodig is. Anderzijds zijn moderne VSC-convertoren zo ontworpen dat hun harmonische bijdrage beperkt is, en zijn er mogelijk geen beperkende maatregelen nodig.

HVDC-convertoren vereisen complexe regelsystemen die dynamisch kunnen interageren met andere netapparatuur. Deze systemen kunnen een risico voor de prestaties van het systeem inhouden, hoewel deze risico's over het algemeen kunnen worden beperkt door in de ontwerpfase uitgebreide elektrische studies uit te voeren.

Tijdens het gebruik interageren HVDC-convertoren met het wisselstroomnet via softwarealgoritmen en presteren ze dus niet op dezelfde manier als conventionele wisselstroominstallaties, die op grond van natuurkundige wetten in reële tijd op netverstoringen reageren. Hoewel de regelingen zijn ontwikkeld om zoveel mogelijk de gewenste kenmerken van een wisselstroomnet te kopiëren, kunnen ze worden beschouwd als een factor die een zekere mate van kwetsbaarheid aan de prestaties van het net toevoegt.

Spanningsbronconvertoren kunnen in zwakke systemen werken en stroom leveren aan voorheen spanningsloze systemen, zoals in een black-startscenario.

9.5.3 Complexiteit, beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het systeem

De leveranciers garanderen de betrouwbaarheid en de beschikbaarheid. De eigenaars houden toezicht op de werking om te bevestigen dat de garanties worden bereikt. Wanneer de garanties niet worden bereikt, moeten de leveranciers hun systemen verbeteren en boetes betalen.

HVDC-systemen zijn complex omdat ze uit veel subsystemen en onderdelen bestaan. Hoe groter de complexiteit en het aantal onderdelen, hoe groter het risico op storingen. De beheerders van transmissienetten eisen een zeer hoge betrouwbaarheid. Er wordt redundantie ingebouwd om het convertorstation in staat te stellen normaal te blijven werken tijdens en na het optreden van een storing, en zo een betere beschikbaarheid en betrouwbaarheid te bieden.

Regel- en beveiligingssystemen zijn misschien wel de meest complexe subsystemen in een convertorstation, en de kans op storingen is dan ook het grootst bij deze systemen. Ook deze systemen kunnen worden gedupliceerd, zodat het stand-bysysteem bij een storing onmiddellijk en naadloos in werking treedt. Het defecte systeem kan dan worden gerepareerd, vaak zonder dat een onderbreking nodig is. Ze worden streng getest in de fabriek, maar de software is in het hoofdsysteem en in het back-upsysteem dezelfde, zodat beide systemen in geval van een softwarestoring tegelijk zouden uitvallen.

VSC-convertormodules zijn ook complex, wat tot heel wat defecte onderdelen leidt. Redundantie in de convertoren wordt voorzien door de installatie van extra modules, zodat de convertoren bij storingen globaal blijven werken tot aan een geplande onderbreking, wanneer de defecte modules kunnen worden vervangen. Deze defecte modules kunnen dan ‘offline’ worden gerepareerd en als reserve worden bewaard.

Klep- en transformatorkoelsystemen kunnen het voorwerp zijn van storingen, vooral omdat ze de meeste van de weinige bewegende onderdelen in een convertorstation omvatten. Ook hier is redundantie ingebouwd in deze systemen, zoals stand-bypompen en -ventilatoren. De meeste storingen kunnen worden verholpen zonder dat er onderbrekingen nodig zijn.

Hulpstroomvoorzieningen worden gedupliceerd en uit meer dan één bron gehaald. Dit kunnen nooddieselgeneratoren zijn of de overname van stroom uit de convertortransformatoren, zodat het verlies van de plaatselijke distributievoorzieningen niet tot een ongeplande onderbreking leidt.

Zie sectie 5.3.5 van het rapport voor meer informatie over de betrouwbaarheid van ondergrondse kabels.

9.5.4 Voorziening van toekomstige aansluitingen

Om toekomstige aansluitingen op de HVDC-verbinding te voorzien, zou het oorspronkelijke punt-tot-puntsysteem moeten worden uitgebreid tot een systeem met meerdere terminals. De keuze van een HVDC-oplossing met meerdere terminals verhoogt het technische risico in vergelijking met een wisselstroomoplossing waarbij de voorziening van extra aansluitingen routine is.

Voor elke terminal van een systeem met meerdere terminals zou een convertorstation nodig zijn. Dit zou aanzienlijke extra kosten met zich meebrengen voor elke nieuwe aansluiting.

9.5.5 Beheer en onderhoud

Voor de verschillende aansluitingen die nodig zijn voor de stroomcorridor van het Toekomstig Elia-net 2030, is waarschijnlijk één operationeel centrum nodig dat 24/7 bemand moet zijn.

Sommige routineonderhoudswerkzaamheden kunnen op elk geschikt moment worden uitgevoerd zonder dat er onderbrekingen nodig zijn, terwijl andere werkzaamheden toegang vereisen tot ruimten die ontoegankelijk zijn terwijl de interconnector in gebruik is. Het onderhoudspersoneel hoeft niet 24/7 in de convertorstations aanwezig te zijn, maar om de beschikbaarheid te optimaliseren moeten er wel technici oproepbaar zijn om technische steun te verlenen aan het operationele team. Deze technici zouden het routineonderhoud tijdens de normale kantooruren uitvoeren. Elk van de verbindingen zou gepland onderhoud ondergaan wanneer de andere volledig beschikbaar zijn. Het is normaal om geplande onderhoudsactiviteiten uit te besteden. Een deel van dit werk is gespecialiseerd, maar er zijn ook reinigingstaken waarvoor een lager bekwaamheidsniveau nodig is.

HVDC vereist meer operationele middelen dan een equivalente wisselstroomontwikkeling vanwege de betrekkelijk grotere complexiteit van de convertorstations.

9.6 Milieu-impact van HVDC

Zoals hierboven wordt besproken, zou het gebruik van HVDC alleen worden overwogen om de ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de stroomcorridor te vergemakkelijken. Dit kan nodig zijn om milieu- of maatschappelijke redenen. Zie sectie 6.4 van het rapport voor een bespreking van de problemen aangaande de milieu-impact, de grond, de planning, de vergunningen en de rechten voor ondergrondse kabels.

De installatie van ondergrondse HVDC-kabels zou resulteren in een smallere corridor, met minder kabels en minder uitgraving, en dus een geringere milieu-impact hebben dan de installatie van wisselstroomkabels.

HVDC-convertorstations zijn aanzienlijk groter dan conventionele wisselstroomonderstations en vergroten daarom de visuele impact van een HVDC-oplossing aan de terminalpunten.

9.7 Plannings-, vergunnings- en bouwprogramma voor HVDC

Vanaf de datum waarop de beslissing wordt bevestigd om HVDC-technologie te gebruiken, zou een programma voor de ingebruikname van het systeem het volgende omvatten:

- Systeemstudies voor eigenaars, gegevensverzameling, opstelling en uitgave van een bestek voor convertorstations en kabels: 1 jaar
- Indiening van offertes door leveranciers, beoordeling van de offertes, plaatsing van bestellingen: 1 jaar
- Levering van het eerste paar convertorstations (2 GW), kabels en inbedrijfstelling: 3-3,5 jaar
- Levering van elk volgend paar convertorstations: 1 jaar

9.8 Kosten gedurende de volledige levensduur voor HVDC

De capaciteit van 6 GW zal waarschijnlijk worden voorzien door ofwel 4 x 1,5 GW ofwel 3 x 2 GW bij 500 kV gelijkstroom. De kosten en de grootte van een convertorstation zijn afhankelijk van de nominale gelijkstroomspanning, met slechts een kleine variatie ten gevolge van de stroomcapaciteit.

De totale bouwkosten omvatten:

- Convertorproject starten en beheren
- Kosten van de overeenkomst inzake het ontwerp, de aanschaf en de bouw van convertoren
- Kabelterminalcompounds (levering en montage van een kabelafdichtingscompound aan elk uiteinde van het traject)
- Kabeleindsluitingen en -beproeving (levering, montage en beproeving van buiteneindsluitingen in de compounds aan beide uiteinden van het traject)
- Kabelsysteemmaterialen (alle kabels, verbindingen, aardings- en verbindingsmateriaal)

De bedrijfskosten van de installatie van de kabels omvatten:

- Elektrische verliezen in de convertoren
- Elektrische verliezen in de kabels
- Beheer- en onderhoudsactiviteiten
- Opknappen van convertoren en vervanging van onderdelen na storingen
- Verlies van inkomsten door storingen in de verbindingen
- Verzekeringskosten
- Vervanging van grote systemen door ouderdom en veroudering

In een kostenberekeningsstudie[15] uit 2012, die in opdracht van de Britse regering werd uitgevoerd, werden de kosten gedurende de levensduur berekend op 700 miljoen EUR[16] voor de convertorstations aan elk uiteinde van een verbinding van 1-1,5 GW.

Informatie over de eenheidskosten die in 2015 door National Grid [17] werd verstrekt, geeft een kostprijs 285-307 miljoen EUR[18] per convertor, of 570-614 miljoen EUR voor convertorstations aan elk uiteinde van de verbinding.

Uit recente besprekingen met leveranciers blijkt dat de prijzen zijn gedaald (zoals te verwachten was wegens de ruimere toepassing van de technologie), met schattingen voor HVDC van 500 kV in de orde van grootte van 500 miljoen EUR voor de convertorstations aan elk uiteinde van een interconnector van 1,5 GW en 600 miljoen EUR voor de convertorstations aan elk uiteinde van een interconnector van 2 GW.

De kosten van de gelijkstroomkabels zullen waarschijnlijk iets lager uitvallen dan de 25,1 miljoen EUR per km die voor een ondergrondse wisselstroomkabel van 380 kV wordt geraamd, omdat er minder kabels en bijbehorende civieltechnische installatiewerkzaamheden

[15] Electricity Transmission Costing Study, Parsons Brinckerhoff, 2012

[16] 565 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2012 van 1,233 EUR/GBP

[17] Electricity Ten Year Statement 2015, National Grid, 2015

[18] 210-226 miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

nodig zijn, en er langs het traject geen reactieve compensatie en harmonische filtering meer nodig is.

Informatie over de eenheidskosten die in 2015 door National Grid werd verstrekt, geeft een kostprijs per paar gelijkstroomkabels per km van 0,95-1,2 miljoen EUR[19] voor de levering en 0,54-0,88 miljoen EUR[20] voor de installatie, of 1,5-2,1 miljoen EUR per paar kabels per km in totaal (d.w.z. 4,5-8,4 miljoen EUR per km voor een stroomcorridor van 6 GW). Deze schatting is exclusief de kosten van elektrische verliezen en beheer- en onderhoudsactiviteiten.

Gelijkstroomkabels van 500 kV zijn niet overal verkrijgbaar en de kosten van het kabelmateriaal kunnen sterk variëren naargelang van de marktomstandigheden.

Er kan worden aangenomen dat bij elk convertorstation ongeveer 1% van de overgebrachte stroom binnen het station verloren gaat. Dit omvat niet alleen de energie die als warmte verloren gaat in de belangrijkste onderdelen, convertorkleppen, transformatoren, reactoren enz., maar ook de hulpstroom die wordt gebruikt voor koelsystemen, beveiligings- en regelsystemen en andere secundaire systemen. Bovendien kunnen verliezen van ongeveer 1% per 100 km kabel worden verwacht.

Als onderdeel van de initiële aankoop zouden reserveonderdelen worden geleverd op basis van berekende storingsgraden, en voor een eerste periode, meestal 5 jaar. Er zouden op dat ogenblik ook grote onderdelen als reserveonderdelen worden gekocht, met name transformatoren, reactoren en convertormodules. Deze kosten zijn opgenomen in de initiële kapitaalkosten. Verdere aankopen van reserveonderdelen worden vaak na enkele jaren ervaring opnieuw beoordeeld, maar een toeslag van 0,1% van de initiële kapitaalkosten per jaar zou voldoende moeten zijn.

Het is normaal om een HVDC-verbinding te kopen met een verwachte levensduur van 30-40 jaar. Gewoonlijk wordt het HVDC-regel- en beveiligingssysteem na ongeveer 20 jaar als verouderd beschouwd en wordt er een vervangingsprogramma uitgevoerd. Dit brengt niet alleen kapitaalkosten met zich mee, maar er is ook een onderbreking van ongeveer twee maanden nodig om het nieuwe systeem te installeren en in bedrijf te stellen. Een nieuw regel- en beveiligingssysteem voor beide uiteinden van een interconnector kan ongeveer 20 miljoen EUR kosten.

Het is moeilijk te beoordelen of er in de eerste 30 jaar een vervangend stel convertorkleppen nodig zou zijn. Dit zou afhangen van de betrouwbaarheid en de beschikbaarheid van reserveonderdelen, maar ook zou in die tijd nieuwe technologie die een betere efficiëntie en/of betrouwbaarheid biedt, een opknapbeurt kosteneffectief kunnen maken.

9.9 Samenvatting van HVDC

HVDC kan de ondergrondse aanleg vergemakkelijken van lange circuits waarbij de maximumlengte aan ondergrondse wisselstroomkabels beperkt is. Het is technisch haalbaar om HVDC-technologie te gebruiken voor de ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de ‘Toekomstig Elia-net 2030’-stroomcorridor.

De extra kosten van HVDC zouden aanzienlijk zijn en de HVDC-technologie zou niet de operationele flexibiliteit en veerkracht bieden van een HVAC-oplossing.

Een HVDC-oplossing gaat gepaard met verschillende technische risico's en nadelen in vergelijking met een HVAC-equivalent.

Nieuwe aansluitingen kunnen gemakkelijker tot stand gebracht worden via een wisselstroomcircuit. Toekomstige aansluitingen op een HVDC-verbinding zijn mogelijk, maar voor elke nieuwe aansluiting langs het traject zou een convertorstation nodig zijn, met hoge kapitaalkosten als gevolg.

[19] (0,70-0,85) miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

[20] (0,40-0,65) miljoen GBP omgerekend naar EUR op basis van de wisselkoers uit 2015 van 1,359 EUR/GBP

Regelsystemen voor HVDC met meerdere terminals zijn complex en gaan gepaard met technische risico's van lage betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een HVDC-verbinding met meerdere terminals.

Er is een aanzienlijke grondoppervlakte nodig voor convertorstations aan elk aansluitpunt.

Het duurt minstens vier jaar om een typisch HVDC-systeem in gebruik te nemen. Aangezien er meer dan één interconnector nodig is, zou het in dit geval waarschijnlijk nog een of meer jaren langer duren voordat het volledige systeem operationeel is.

Er zijn twee hoofdopties om de capaciteit van 6 GW te bereiken; 4 verbindingen van 1,5 GW of 3 verbindingen van 2 GW. Momenteel is 1,5 GW een normaal nominaal vermogen voor een VSC-project met één systeem. Dit kan door verschillende leveranciers worden bereikt. Door de kabelspanningslimiet en de stroomlimiet van vermogenselektronische modules is 2 GW voor één systeem minder gemakkelijk te bereiken, en er zijn momenteel geen VSC-verbindingen met deze capaciteit in gebruik. Een systeem van 3 × 2 GW gaat daarom gepaard met een hoger technisch risico dan een systeem van 4 × 1,5 GW.

10 Vergelijkend technologieoverzicht

De scores voor de technologie en de eindposities worden samengevat in tabel 7.

Tabel 7: vergelijkend technologieoverzicht

Criteria	HVAC					HVDC
	Bovengrondse leiding	Ondergrondse kabel	Gedeeltelijk ondergronds aangelegde bovengrondse leiding	Gasgeïsoleerde leiding	Supergeleidende kabel	Ondergrondse kabel
Veiligheid	+	+	+	x	x	+
Technische prestaties	++	x	+	x	x	- -
Milieu-impact	-	-	+	x	x	-
Planning, vergunning en bouw	-	-	+	x	x	-
Kosten gedurende de volledige levensduur	++	- -	-	x	x	- -
Algemene positie	**1**	**x**	**2**	**x**	**x**	**3**

Een bovengrondse wisselstroomleiding is de oplossing die de voorkeur verdient. Een gedeeltelijk ondergrondse aanleg van de bovengrondse wisselstroomleiding is technisch haalbaar en kan worden overwogen in specifieke gebieden die aanzienlijk zouden worden getroffen door de aanleg van een bovengrondse leiding.

Hoewel HVDC de ondergrondse aanleg van lange circuits kan vergemakkelijken, zouden de extra kosten van HVDC aanzienlijk zijn en zou de HVDC-technologie niet de operationele flexibiliteit en veerkracht bieden van een HVAC-oplossing. Deze technologie staat daarom op de derde plaats.

De installatie van lange lengten aan wisselstroomkabels in transmissienetten gaat gepaard met belangrijke problemen inzake technische prestaties. De aanpak van deze technische problemen leidt tot een grotere complexiteit van het systeem, het risico van verminderde beschikbaarheid en veel hogere kosten. Voor de ondergrondse aanleg van een traject van 100 km lang zou 1800 km kabel nodig zijn, wat een aanzienlijk aanschafrisico voor het project zou inhouden. Een oplossing met ondergrondse kabels zou aanzienlijk duurder zijn dan een equivalente bovengrondse leiding. De ondergrondse aanleg van de volledige lengte van de corridors Stevin-Avelgem en Avelgem-Centrum voldoet daarom niet aan de eisen van het project.

Hoewel het technisch mogelijk is om een transmissiecapaciteit van 3 GW per circuit te voorzien, is er geen ervaring met gasgeïsoleerde leidingen over lange afstanden. Een trajectlengte van 100 km kan als zodanig gepaard gaan met tot nu toe onbekende technische en bouwtechnische uitdagingen. De technologie wordt niet voldoende matuur geacht om te worden ingezet als onderdeel van een kritiek netverzwaringsproject, en bijgevolg voldoen gasgeïsoleerde leidingen over een lange afstand niet aan de eisen van het project.

Supergeleidingstechnologie is nog in ontwikkeling en is nog ver verwijderd van toepassing in een operationeel transmissienet. Supergeleidende kabels voldoen daarom niet aan de eisen van het project.

11 Woordenlijst van technische termen en acroniemen

Tabel 8: technische termen en afkortingen

Term	Afkorting	Omschrijving
Wisselstroom		Een type elektrische stroom waarbij de elektrische lading met regelmatige tussenpozen van richting verandert
Beschikbaarheid		De tijd dat het circuit beschikbaar is voor het doel waarvoor het is ontworpen, d.w.z. om zijn nominale stroom over te brengen. Dit wordt beïnvloed door geplande onderhoudsactiviteiten en ongeplande storingen.
Black start		Het onder spanning brengen van een voorheen spanningsloos systeem
Capaciteit		De hoeveelheid elektriciteit die veilig en betrouwbaar op het net of een circuit kan worden overgebracht
Circuit		De bovengrondse leiding of ondergrondse kabel die twee onderstations met elkaar verbindt
Geleider		Het gedeelte van de bovengrondse leiding of ondergrondse kabel dat de elektrische stroom vervoert
Convertorstation		Een station dat gelijkstroom omzet in wisselstroom of omgekeerd
Corridor		De strook grond met een bepaalde breedte waar de elektriciteitsleiding of -kabel zal worden aangelegd
Stroomsterkte		De stroming van elektrische lading in een circuit, analoog aan de stroming van water in een watersysteem. Gemeten in een eenheid die ampère wordt genoemd.
Vraag		De hoeveelheid elektrische stroom die verbruikers van het net afnemen
Gelijkstroom		Een type stroom waarbij de richting van de elektrische lading constant is.
Distributienet		Een net met een lagere spanning dat stroom levert aan gezinnen en bedrijven. Het equivalent van een regionaal net van secundaire wegen in het wegennet van een land
Elektrisch en magnetisch veld		Onzichtbare energiegebieden die vanzelf ontstaan. Als er elektriciteit stroomt, worden er zowel elektrische als magnetische velden opgewekt.
Elektrische verliezen		Zie verliezen
Storingen		Een defect aan apparatuur waardoor een circuit moet worden uitgeschakeld en daardoor niet meer beschikbaar is voor gebruik
Generator		Een apparaat dat energie opwekt in de vorm van elektriciteit
Net		Een net of "energiesnelweg" die uit bovengrondse hoogspanningsleidingen, ondergrondse hoogspanningskabels en hoogspanningsonderstations bestaat. Het net verbindt energiegebruikers met energieproducenten. Het is zo ontworpen dat de stroom vrij kan stromen naar de plaats waar hij nodig is.
Gigawatt	GW	Een eenheid van vermogen (zie vermogen). 1 GW is gelijk aan 1000 MW.
Harmonische vervorming		Een verschijnsel dat de kwaliteit van de stroomvoorziening aan klanten beïnvloedt.
Isolator		Een onderdeel dat in elektrische apparatuur wordt gebruikt om elektrische geleiders te ondersteunen en te scheiden.
Interconnector		Een groot circuit dat twee landen met elkaar verbindt
kV	kV	Een eenheid van spanning (zie spanning). 1 kV is gelijk aan 1000 V.
MW	MW	Een eenheid van vermogen (zie vermogen). 1 MW is gelijk aan 1000 W.
Elektriciteitscentrale		Een faciliteit die uit generatoren bestaat die energie opwekken in de vorm van elektriciteit
Stroomsysteem		Het algemene systeem dat elektriciteit produceert, overbrengt en distribueert zodra het nodig is
Reactieve stroom		Energie die wordt vastgehouden en opgeslagen in de elektrische kabelcapaciteit
Reactieve stroomcompensatie		Speciale apparatuur om de in de elektrische kabelcapaciteit vastgehouden en opgeslagen energie te neutraliseren, en de daarmee gepaard gaande effecten te compenseren

Term	Afkorting	Omschrijving
Redundantie		De opname van extra capaciteit in geval van een storing van andere circuits
Betrouwbaarheid		Het vermogen van het circuit om constant goed te presteren
Opwekking van hernieuwbare energie		De opwekking van elektriciteit met behulp van hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie
Onderstation		Een stel elektrische apparaten die worden gebruikt om de energiestromen te regelen, en de spanningen tussen het transmissie- en het distributienet te wijzigen
Transmissienet		Een fysiek net dat opwekkers van elektriciteit met het distributienet verbindt. Het transmissienet is het equivalent van het net van nationale autosnelwegen in het wegennet van een land
Spanning	V	Een maat voor de elektrische potentiaal, analoog aan de druk in een watersysteem. Gemeten in een eenheid die volt wordt genoemd.
Spanningsbronconvertor	VSC	Een type HVDC-convertortechnologie
Watt	W	Dit is een maat voor het elektrische vermogen. Gemeten in een eenheid die watt wordt genoemd. Een elektrische waterkoker verbruikt ongeveer 2 kW

Verslag dubbelcheck technologie

Inhoud

Context van de dubbelcheck technologie 2
Doelstellingen van Ventilus 2
Uitvoering dubbelcheck technologie 2
Overlegstructuur dubbelcheck technologie 4
Aanduiding procesbegeleider 4
Aanstelling van de experten 4
Samenstelling van de stakeholdersgroep 5
Dubbelcheck door de experten 7
Behoefte aan transportcapaciteit van de nieuwe lus van 6 GW 7
Gelijkstroom 9
Ondergronds wisselstroom 11
Karakteristieken masten 12
Bespreking tijdens de stakeholdergroepen 13
Praktische en inhoudelijke organisatie 13
Sessie 1: doelstellingen toegelicht 13
Sessie 2: Bijkomende vragen van stakeholders 14
Sessie 3: ondergrondse verbinding in wisselstroom 14
Sessie 4: open agenda 15
Sessie 5: meer duiding over magnetische velden 15
Terugkoppeling naar de ‘tweede tafel’ 17
Conclusies van het planteam 18
Bijlagen op de website Ventilus 19

Context van de dubbelcheck technologie

Doelstellingen van Ventilus

Over de doelstellingen van Ventilus werden tijdens de publieke consultatie over de startnota weinig vragen gesteld. Ze zijn nochtans essentieel voor het project. Want deze **doelstellingen bepalen de basisvoorwaarden** waaraan de gekozen variant/oplossing moet voldoen.

De ontwikkeling van een Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan (GRUP) is nodig om de vereiste planologische vergunningsbasis te creëren voor de realisatie van een aantal **noodzakelijke ontwikkelingen binnen het hoogspanningsnet** in West-Vlaanderen. Op korte termijn is een aansluitingscapaciteit van bijkomende offshore en onshore windenergie noodzakelijk. Op middellange termijn is bovendien extra capaciteit vereist voor bijkomende interconnecties, waardoor de nood aan totale **onthaalcapaciteit in de kustregio stijgt tot meer dan 7 GW**. Om deze onthaalcapaciteit te realiseren is een verdere versterking van het hoogspanningsnetwerk in de kustregio noodzakelijk.

De realisatie van de nieuwe hoogspanningsverbinding moet worden **geïntegreerd in het bestaande elektriciteitsnet** zodat dit net 'vermaasd' is. Dit is te vergelijken met de werking van een wegennet: indien een weg afgesloten is, door een incident of werken, kan steeds een omleiding worden gevolgd. Vandaag is de **Stevin-lijn een 'antenne'** vanuit Zomergem die de enige verbinding vormt tussen de hoogspanningsstation in Zeebrugge en de rest van het Belgische 380kV-hoogspanningsnet. Het vormt een doodlopende straat. Er is dus **geen andere uitweg** in geval van een incident.

Met de Stevin-lijn werd een eerste stap gezet om het 380kV-net uit te bouwen naar de kust, met een onthaalcapaciteit van 3 GW (N-1)[1]. Die 3 GW is een belangrijke limiet, want dat is de maximale capaciteit die bij een **ernstig incident op de as** ogenblikkelijk kan opgevangen worden via de Europese primaire reserves. Deze **reserves zijn niet ongelimiteerd beschikbaar**, na 15 minuten moet België zelf zijn evenwicht herstellen.

Sinds de bouw van Stevin heeft de elektriciteitsproductie in de Noordzee (offshore) zich sterk ontwikkeld en werd de interconnectie Nemo Link tussen België en het Verenigd Koninkrijk in gebruik genomen. Intussen is het **duidelijk dat de elektriciteitsproductie zich meer en meer verplaatst naar de kustregio**. De uitbouw van een sterk net is dan ook noodzakelijk. Daarom werd in de startnota logischerwijze gekozen om voor de verbinding in West-Vlaanderen dezelfde transportcapaciteit te voorzien als deze van de rest van het 380kV-netwerk in Vlaanderen en België, namelijk 6 GW.

Deze doelstellingen zijn het **uitgangspunt van Ventilus en het GRUP**. Daarom werd de motivatie nog omstandiger toegelicht en besproken met de experten en stakeholders, zodat de contouren van de dubbelcheck technologie van bij de start gekend en aanvaard zouden worden.

Uitvoering dubbelcheck technologie

De dubbelcheck technologie is bedoeld om **na te gaan of de drie studies en het advies van de verschillende professoren die aan de startnota waren toegevoegd, tot de juiste conclusies hadden geleid**. Meer concreet was er de vraag of een groter deel van Ventilus ondergronds kan aangelegd

[1] In principe is één circuit van 3 GW voldoende om het totale vermogen te transporteren. Wanneer één circuit niet gebruikt kan worden (bv. onderhoud) kan het andere circuit nog steeds alle vermogen transporteren. Deze redundantie noemt men N-1, waarbij N staat voor normale omstandigheid en 1 voor een enkelvoudige storingsreserve.

worden, meer bepaald in wisselstroom of gelijkstroom. Dit gebeurde volgens de werkwijze die in de mededeling van 20 december 2019 werd voorzien.

Er zijn extra studies opgemaakt die op hun kwaliteit beoordeeld werden door een **panel van onafhankelijke experten** die door de Vlaamse Overheid (i.c. het planteam) werden aangesteld op basis van een aantal selectiecriteria. Aan de experten werd gevraagd een samenvattend rapport op te stellen met daarin hun eigen conclusies en dit rapport toe te lichten aan een groep van stakeholders. Dit gebeurde met de bedoeling om met die werkwijze en ongeacht het resultaat van de oefening **tot een maximaal gedeelde kennis en draagvlak te komen over de conclusies**.

De **studies en rapporten** van deze dubbelcheck zijn ook terug te vinden op de website www.ventilus.be/documenten. Er werd bijkomend op verzoek van de actiecomités nog een extra advies ingewonnen van een Schots onderzoekscentrum dat gespecialiseerd is in gelijkstroom.

Ongeacht het tijd gedreven karakter van de behoeften in het kader van de energiesituatie en de strijd tegen de opwarming van het klimaat, werd beslist om de nodig geachte tijd voor deze bijkomende tussenstap van de dubbelcheck uit te trekken. Want de **keuze voor de technologie is bepalend voor de beoordeling van de mogelijke tracés** en dus voor de kwaliteit van het proces. Pas na de afronding van de dubbelcheck technologie, kan de scopingnota worden voorbereid met daarin opgenomen welke tracés als redelijke alternatieven of varianten verder moeten onderzocht worden in de plan-MER.

Overlegstructuur dubbelcheck technologie

Aanduiding procesbegeleider

Het planteam heeft Guy Vloebergh, een ervaren ruimtelijke planner en procesbegeleider, aangeduid om de oefening rond de dubbelcheck technologie te begeleiden.

Aanstelling van de experten

Voor de aanduiding van de experten heeft het planteam volgende criteria gehanteerd:

- Beschikken over **aangetoonde kennis** van hoogspannings-technologieën of van de exploitatie van een hoogspanningsnet
- **Geen politiek of commercieel belang** bij een bepaalde technologiekeuze
- Minstens één **buitenlands expert**, bij voorkeur uit Nederland omwille van vele verwijzingen naar Nederland bij inspraakreacties
- Minstens één expert uit ieder van volgende **specialisaties**:
    - Gelijkstroom
    - Wisselstroom
    - Netbeheer
- Minstens de **helft van de experten** was **niet rechtstreeks betrokken bij het advies** van de Belgische universiteiten dat toegevoegd was bij de startnota. Op die manier wordt niet enkel de nieuwe studie geanalyseerd, maar kan de dubbelcheck op de eerdere studie ook met nieuwe inzichten gebeuren.

De volgende experten werden **door het planteam gekozen** en bereid gevonden om aan de dubbelcheck deel te nemen:

- **Dirk Van Hertem**, Professor *Electrical Engineering* aan de KU Leuven. Hij focust zich voornamelijk op **gelijkstroomtechnologie** (HVDC) en meer specifiek op de inpassing van HVDC in elektriciteitsnetten. Daarnaast maakt hij ook deel uit van het onderzoekscentrum 'EnergyVille', een samenwerking tussen de Vlaamse onderzoekspartners KU Leuven, VITO, imec en UHasselt voor onderzoek naar duurzame energie en intelligente energiesystemen en gekend voor hun expertise rond o.a. gelijkstroomtechnologie. Prof. Van Hertem behoorde eveneens tot de groep van experten die de eerste technologiestudie hebben geadviseerd.

- **Emmanuel De Jaeger**, Professor *Electrical Energy Systems* UCL (Université Catholique de Louvain). Zijn expertise focust zich op **wisselstroomsystemen** (AC) en de werking van elektriciteitsnetten, voornamelijk op het vlak van stabiliteit en dynamische fenomenen. Hij heeft ervaring als technisch en research directeur bij Laborelec, een gekend expertise- en onderzoekscentrum in de energiewereld. Prof. De Jaeger behoorde eveneens tot de groep van experten die de eerste technologiestudie hebben geadviseerd.

- **Jacco Smit,** Senior Instandhoudingsstrateeg bij Tennet (TSO Nederland) en verantwoordelijk voor de instandhouding en technologie van de bovengrondse en ondergrondse verbindingen. Hij coördineert onder meer het academisch onderzoek, verricht door TU Delft en Eindhoven, en het praktisch onderzoek naar de integratie van **380kV kabelverbindingen** in het Nederlandse 380kV netwerk. Ten opzichte van de bovenstaande Belgische experts behoorde de heer Smit niet tot de groep van experten die de technologiestudie hebben geadviseerd, zodat hierop ook een dubbelcheck kan gebeuren en nieuwe inzichten kan brengen

- **Kees Jansen**, verbonden met de Universiteit Wageningen en Senior Netstrateeg bij Tennet (TSO Nederland) is als strateeg betrokken bij de **planning van toekomstige netuitbreidingen** op 380 kV niveau en de systeemintegratie van nieuwe verbindingen. Aspecten zoals ondergronds versus bovengronds, AC-technologie of DC-oplossingen, partiele integratie van kabelverbindingen en de gevolgen daarvan voor het systeemgedrag van het hoogspanningsnet, behoren tot zijn belangrijkste aandachtsgebieden. Ten opzichte van de bovenstaande Belgische experts behoorde de heer Smit niet tot de groep van experten die de technologiestudie hebben geadviseerd, zodat hierop ook een dubbelcheck kan gebeuren en nieuwe inzichten kan brengen

- **Lieven Vandevelde**, Professor *Electrical Energy Laboratory* aan de Universiteit Gent, coördineert research rond **wisselstroom elektriciteitsnetten**, waarbij vooral hernieuwbare energie en de integratie ervan in het net een belangrijke rol spelen. Daarnaast is hij directeur van Power-Link, een energieplatform met researchfocus op projecten m.b.t. de energietransitie. Ten opzichte van de bovenstaande Belgische experts behoorde professor Vandevelde niet tot de groep van experten die de technologiestudie hebben geadviseerd, zodat hierop ook een dubbelcheck kan gebeuren en nieuwe inzichten kan brengen.

- **Mart van der Meijden**, Professor Technische Universiteit Delft en innovatiemanager bij TenneT (TSO Nederland). Als deeltijds professor aan de TU Delft werkt hij voornamelijk op '*Large-Scale Sustainable Power Systems*', zijnde de massale integratie van duurzame energie en de impact daarvan op de energiesystemen. Als innovatiemanager bij Tennet is hij verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de langetermijnvisie van Tennet en heeft hij bijgedragen aan het ontwerp van het innovatieve North Sea Wind Power Hub. Hij heeft hierdoor zowel **ervaring met gelijkstroom- als wisselstroomtechnologie**, alsook de integratie van hernieuwbare energie. Ten opzichte van de bovenstaande Belgische experts behoorde de heer Smit niet tot de groep van experten die de technologiestudie hebben geadviseerd, zodat hierop ook een dubbelcheck kan gebeuren en nieuwe inzichten kan brengen

De georganiseerde burgerplatformen hebben aanvullend gevraagd naar de visie van de experten van het **HVDC Center UK**. Er werd ingegaan op deze verwachting en een bijkomend advies gevraagd.

De georganiseerde burgerplatformen hebben aanvullend ook gevraagd naar de inbreng van de expertise van **Duitse netbeheerders,** in het bijzonder 50Hertz. Omdat 50Hertz deel uitmaakt van Elia Group en TenneT zowel in Nederland als in Duitsland actief is, werd door de vertegenwoordigers van Elia en TenneT bevestigd dat ze goed op de hoogte zijn van de projecten bij hun zusterbedrijven.

Samenstelling van de stakeholdersgroep

Het resultaat van de dubbelcheck door de experten werd besproken met de stakeholders die zo representatief mogelijk moeten zijn en samengesteld uit: **vertegenwoordigers** van lokale besturen, georganiseerde burgerplatformen, middenveld en Elia. Na onderhandeling met de verschillende stakeholders werd tot volgende samenstelling gekomen:

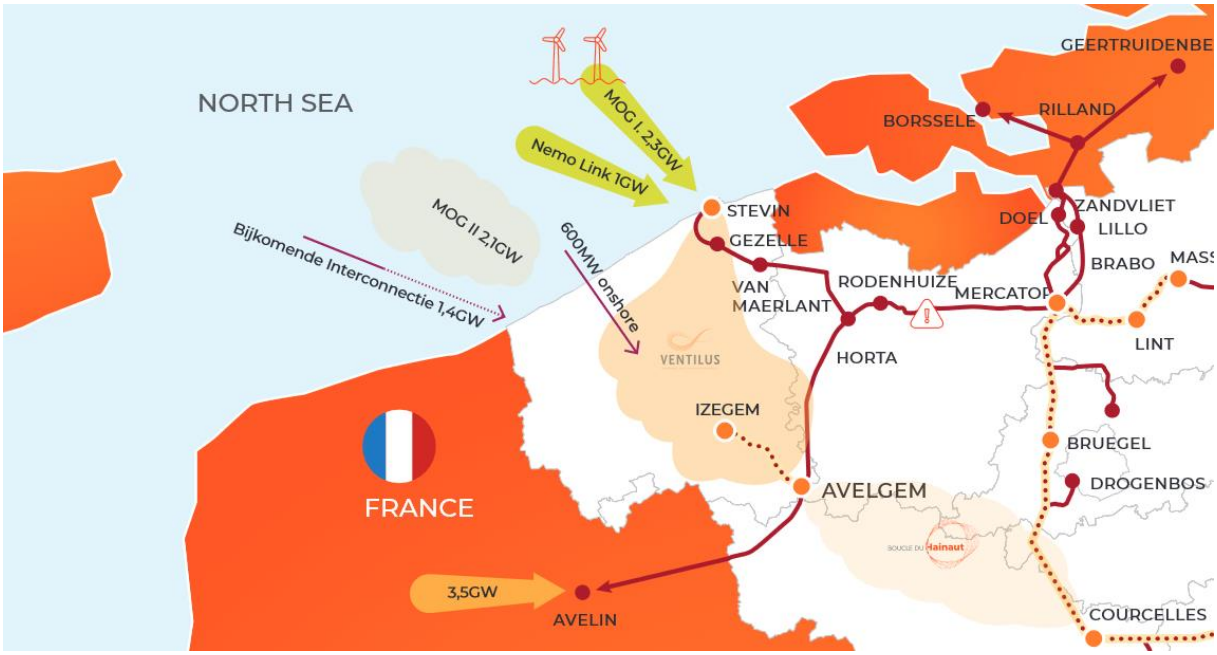
- 6 vertegenwoordigers van de gemeenten en 1 van de provincie
- 2 vertegenwoordigers voor de intercommunales Leiedal en WVI
- 1 vertegenwoordiger van de landbouwfederaties
- 1 vertegenwoordiger van de natuur- en milieufederaties

- 1 vertegenwoordiger van de werkgeversfederaties
- 6 vertegenwoordigers van de georganiseerde burgerplatformen
- 2 vertegenwoordigers van Elia

Dubbelcheck door de experten

Behoefte aan transportcapaciteit van de nieuwe lus van 6 GW

Op korte termijn is er aansluitingscapaciteit van bijkomende offshore en onshore windenergie noodzakelijk. Op middellange termijn is bovendien extra capaciteit vereist voor bijkomende interconnecties, waardoor de **nood aan totale onthaalcapaciteit in de kustregio stijgt tot meer dan 7 GW.** Om deze onthaalcapaciteit te realiseren is een verdere versterking van de ruggengraat van het elektriciteitsnet (380kV), en meer bepaald deze in de kustregio, noodzakelijk.

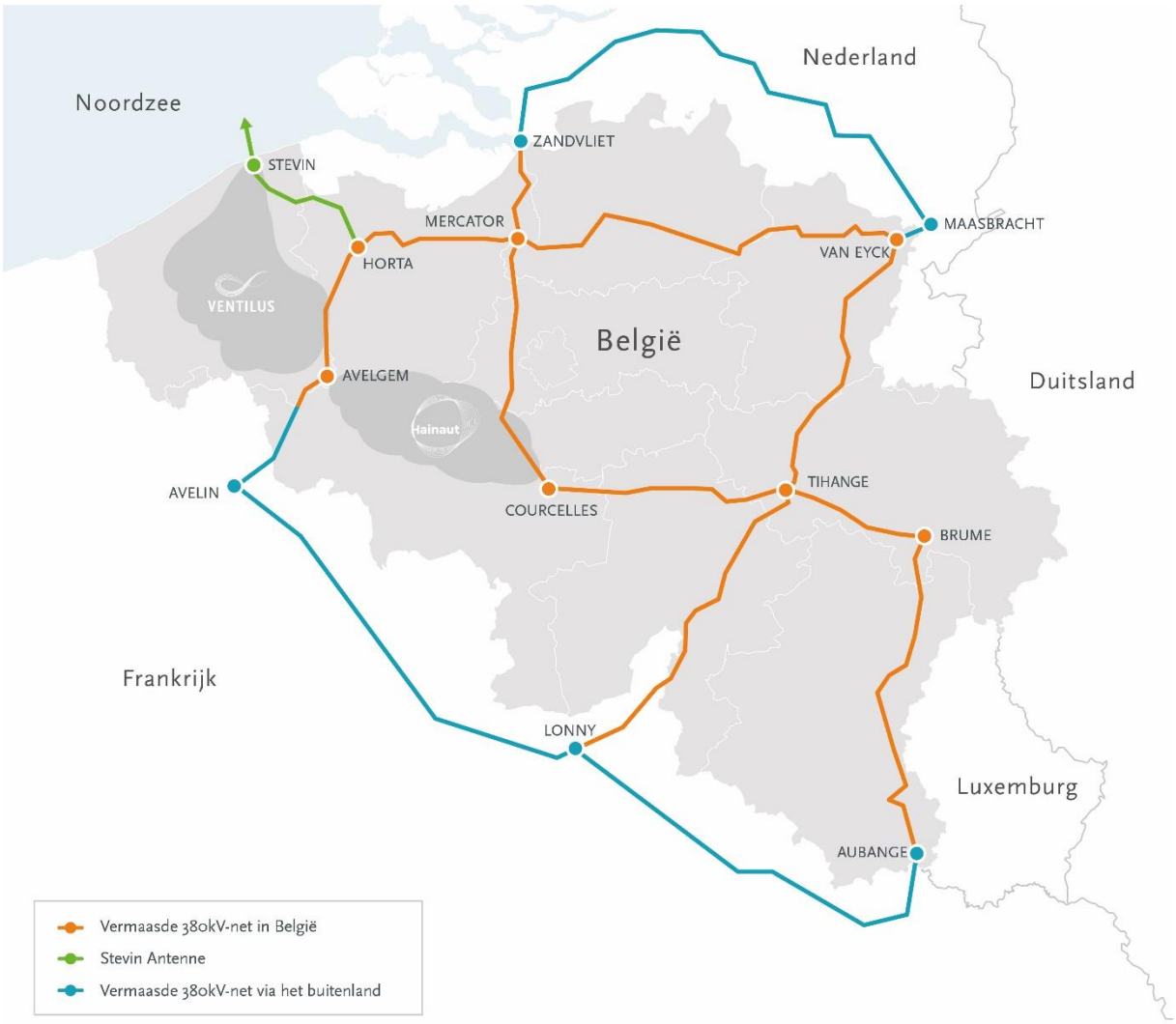


Figuur: Overzicht van noodzaak aan onthaalcapaciteit op korte en middellange termijn

- 4,4 GW offshore
- 0,6 GW onshore
- 1 GW Nemo Link
- 1 tot 2 GW bijkomende (hybride) interconnectie

Deze noodzaak voor het bijkomende netwerk geeft ook **opportuniteiten** voor de vervanging van oude hoogspanningsinfrastructuur (zoals de bestaande 150 kV-lijn tussen Slijkens (Oostende) en Brugge Waggelwater) en de realisatie van een hogere bevoorradingszekerheid regio Izegem-Roeselare.

De realisatie van de nieuwe verbinding moet geïntegreerd worden in het bestaande elektriciteitsnet. Bij de uitbouw van een hoogspanningsnet wordt het **principe van 'vermazing'** toegepast. Elke nieuwe elektriciteitsverbinding die wordt toegevoegd, bouwt voort op bestaande knooppunten. De functie van het vermaasde elektriciteitsnet valt te vergelijken met de werking van het wegennet. Als een weg afgesloten is door een incident of werken, kan steeds een omleiding worden gevolgd.



Figuur: principe van 'vermazing' binnen het elektriciteitsnet

In België bestaat de ruggengraat van het elektriciteitsnet daarom uit hoogspanningslijnen (380kV) met telkens **2 circuits die via grote lussen met elkaar verbonden zijn**. Op die manier kunnen grote vermogens eenvoudig van de ene naar de andere zijde van het land worden getransporteerd. Na het uitvoeren van de nodige versterkingen zal elke bovengrondse verbinding die behoort tot de ruggengraat een transportcapaciteit hebben van **3 GW per circuit met in totaal 6 GW.**
In principe is één circuit voldoende om het totale vermogen te transporteren.
Wanneer één circuit niet gebruikt kan worden (bv. onderhoud) kan het **andere circuit nog steeds alle vermogen transporteren**. Deze redundantie noemt men N-1, waarbij N staat voor normale omstandigheid en 1 voor een enkelvoudige storingsreserve. Bij een groot incident waarbij de volledige verbinding in onbruik raakt (N-2 bv. bij een pylooninCident), zijn er dankzij de vermazing nog overige verbindingen die gebruikt kunnen worden om het vermogen te transporten. Door de vermazing neemt de beschikbare transportcapaciteit toe.

Vandaag is de **Stevin-lijn** een 'antenne' vanuit Zomergem die de **enige verbinding** vormt tussen de hoogspanningspost in Zeebrugge en de rest van het Belgische 380kV-hoogspanningsnet. Het vormt een doodlopende straat. Er is dus **geen andere uitweg in geval van een incident**.

Met de Stevin-lijn werd een eerste stap gezet om het 380kV-net uit te bouwen naar de kust, met een onthaalcapaciteit van 3 GW (N-1). Die 3 GW is een belangrijke limiet, want dat is de maximale

capaciteit die bij een ernstig incident op de as ogenblikkelijk kan opgevangen worden via de **Europese primaire reserves**. Deze reserves zijn echter **niet ongelimiteerd beschikbaar**, na 15 minuten moet België zelf zijn evenwicht herstellen. Het Europese net moet zich immers terug klaar maken om een eventueel volgend incident op te vangen. Sinds de bouw van Stevin heeft de elektriciteitsproductie in de Noordzee (offshore) zich sterk ontwikkeld en werd Nemo Link in gebruik genomen.

De **elektriciteitsproductie verplaatst meer en meer naar de kustregio**. Op middellange termijn wordt de mogelijke elektriciteitsproductie in de Noordzee (offshore) en in de provincie West-Vlaanderen (onshore) **geraamd op meer dan 7 GW**. Het is nodig om maatregelen te nemen om deze productie veilig te kunnen aansluiten. Indien het hoogspanningsnet in de kustregio verder wordt uitgebouwd vanuit het vermazingsprincipe, zal dit de weerbaarheid van de kritische infrastructuur van het land vergroten. Ter vergelijking: de **kritische productie-eenheden** Doel (3 GW) en Tihange (3 GW) vormen **knooppunten** die beiden zijn verbonden met meerdere elektriciteitsverbindingen en optimaal vermaasd zijn.

De vermazing van Stevin en Ventilus laat een **grotere gecombineerde capaciteit toe** dan wanneer er geen vermazing plaatsvindt. Zonder vermazing is de aansluitcapaciteit **6 GW** (aldus 3 GW in N-1 van de Stevin verbinding en 3 GW in N-1 van de Ventilus verbinding). Met vermazing bedraagt deze reeds **7 GW** met een eventuele optie voor een toekomstige uitbreiding naar **8 GW**, omdat dit volume kan getransporteerd worden in het geval van een enkelvoudig storingsreserve (N-1), bijvoorbeeld door onderhoudswerken.

De geplande verbinding Ventilus zal **deel uitmaken van de ruggengraat** (380kV) van het Belgische en Europese elektriciteitsnet. Logischerwijze zal deze verbinding **eenzelfde transportcapaciteit** hebben van 6 GW in normale omstandigheden (N) en 3 GW bij het uitvallen van een netelement (N-1). De West-Vlaamse lus is daarbij het **netwerkplatform dat België absoluut nodig heeft** voor een inbedding in het Europese, duurzame elektriciteitssysteem van 2030 en daarna.

Oordeel van de experten

Hoewel het op zich geen onderdeel was van de dubbelcheck technologie, hebben de experten in hun gezamenlijke advies de noodzaak onderschreven van een verdere **versterking van het elektriciteitsnet tot een capaciteit van 6 GW** om een sterk net uit te bouwen op het land, dat de stijgende nood aan onthaalcapaciteit aan de kust kan opvangen. Een Ventilus-verbinding met een transportcapaciteit van 2 tot **3 GW is volgens de experten ontoereikend** voor de correcte werking van het vermaasde elektriciteitsnetwerk en lijkt bovendien ook onvoldoende voor de behoeften op de middellange termijn.

Gelijkstroom

Bijkomende studies en rapporten voor dubbelcheck

Aanvullend op de studies die bij de startnota werden gevoegd, heeft het planteam specifiek voor gelijkstroom een bijkomende studie gevraagd die is opgesteld door een **internationaal studiebureau Manitoba Hydro International** Ltd. In deze studie stond de vraag centraal of een (ondergrondse) verbinding in gelijkstroom een technisch haalbare oplossing is voor Ventilus. Daarbij moest minstens aandacht zijn voor de technische uitdaging, de veiligheid van de netuitbating en geverifieerd worden of zo'n oplossing al elders in de wereld werd gerealiseerd. Deze studie is als bijlage toegevoegd aan deze mededeling.

Bijkomend werd **door Elia een studie opgesteld** gericht op gelijkstroom voor het specifieke geval Ventilus, omdat de eerdere studie van Elia tot doel had om een algemeen vergelijkend beeld weer

te geven omtrent de technologische mogelijkheden. De experten hebben deze rapporten ontvangen en hebben hun gezamenlijke advies gegeven, zoals in bijlage wordt toegevoegd.

Aanvullend werd op verzoek van de actiecomités ook een **advies van het HVDC Center UK** gevraagd, wat eveneens in bijlage wordt toegevoegd.

Dubbelcheck door de experten

Het Ventilus project zal **deel uit maken van de ruggengraat** (380kV) van het Belgische elektriciteitsnet. De hoogspanningsverbinding zal essentieel zijn voor het transport van elektriciteit afkomstig van de offshore windparken en verbindingen met buurlanden, de zogenaamde interconnecties. Daarnaast is Ventilus **nodig om de bestaande Stevin-lijn in te lussen** in het vermaasde elektriciteitsnet. Hierdoor zal het Ventilus project een belangrijke bijdrage leveren aan de Belgische bevoorradingszekerheid.

Bij het **gebruik van gelijkstroomtechnologie**[2] voor het Ventilus project neemt de complexiteit van de uitbating van deze verbinding binnen het vermaasde elektriciteitsnet dat wordt uitgebaat in wisselstroom[3] sterk toe. Door deze toenemende complexiteit van interacties ontstaan bijkomende **uitbatingsrisico's die het netbeheer bemoeilijken**.

De uitbatingscondities van een elektriciteitsnet zijn slechts bij benadering bekend en sterk veranderlijk van aard. Bijvoorbeeld door wisselende hernieuwbare energieproductie, technische defecten, enz. De integratie van een HVDC-verbinding in het vermaasde elektriciteitsnet (AC) leidt daarbij, voor de specifieke Ventilus case, tot een significante **verhoging van het risico op stabiliteitsproblemen**.

De HVDC-technologie heeft binnen het huidige tijdsvenster **niet de nodige maturiteit** om toegepast te worden op het specifieke Ventilus project. Wanneer Ventilus in gelijkstroom (HVDC) zou worden uitgevoerd, is de nieuwe hoogspanningsverbinding bij een incident niet in staat om automatisch transport van elektrisch vermogen over te nemen van een eventueel incident op de Stevin-lijn. De beschikbare omvormers die dan in werking moeten treden, kunnen volgens de experten op dit ogenblik de goede uitbating van de vermazing van het netwerk niet garanderen. Hierdoor kan een sneeuwbaleffect volgen waardoor **alle productie en import in één keer verloren** gaat en het gehele hoogspanningsnetwerk uitvalt.

Er zijn **geen HVDC-projecten bekend die vergelijkbaar zijn** met de topologie, condities en capaciteit van het Ventilus project. Tot op heden wordt de HVDC-technologie hoofdzakelijk gebruikt voor andere toepassingen: interconnecties tussen regelzones (asynchrone netwerken), aansluitingen van offshore windparken en punt-tot-punt-verbindingen met gekende uitbatingscondities.

Een toepassing van de HVDC-technologie voor het Ventilus project is volgens de experten **voldoende goed onderzocht**. Daarbij kwamen enkele gebreken en de beperkte ervaringen in complexe netsituaties aan bod. Ook werd aangetoond dat er nog te weinig kennis is (o.a. qua modellen) met betrekking tot bepaalde belangrijke aspecten voor de netuitbating. De technische problemen die Elia in haar rapport identificeert en beschrijft, zijn zeer reëel en bemoeilijken de implementatie van de HDVC-technologie op middellange termijn in situaties gelijkaardig aan het Ventilus project. Deze problemen zijn gekend en worden actief onderzocht, onder meer in de academische wereld (o.a. EnergyVille), en door de transmissienetbeheerders (ENTSO-E).

[2] HVDC (high voltage direct current)
[3] AC (alternating current)

Er werd door alle geconsulteerde experten geconcludeerd dat de keuze voor **gelijkstroom (HVDC) geen redelijk alternatief** is voor het Ventilus project. Het gebruik van HVDC voor het realiseren van deze AC-vermazing staat technisch gezien nog niet ver genoeg.

Binnen het tijdskader van het Ventilus project biedt de HDVC-technologie geen gegarandeerde betrouwbare toepassing. Dergelijke oplossing staat in schril contrast met de maturiteit en garanties die een uitvoering in wisselstroomverbinding kan bieden. Dit bevestigt dat **wisselstroom de enige aanvaardbare technologie** is voor de uitbouw van het project.

Het advies van het National HVDC Centre dat op verzoek van de actiecomités werd gevraagd, had dezelfde conclusie.

Ondergronds wisselstroom

Bijkomende analyse volgens methode (flowchart) van TU Delft en TenneT voor dubbelcheck

Elia heeft in een bijkomende studie de mogelijkheden onderzocht van een ondergrondse aanleg van Ventilus zonder de leveringszekerheid in gedrang te brengen (zie bijlage). Daarbij is een methode van de TU Delft en TenneT gebruikt en volgende analyses omvat:

- Analyse van het **effect** van een ondergrondse kabel in normale condities ('steady state analyse');
- Analyse om het **risico** op ongewenste netfenomenen zoals resonanties te bepalen ('harmonische analyse');
- Analyse van **gedrag** elektriciteitsnet bij specifieke gebeurtenissen ('dynamisch en transiënt gedrag').

Dubbelcheck door de experten

De mogelijkheden om Ventilus gedeeltelijk ondergronds aan te leggen, zijn volgens de experten **met de juiste systematische aanpak onderzocht**. De conclusies voortgekomen uit deze analyses kunnen worden gedeeld.

De experten bevestigen dat de afstand die in wisselstroom ondergronds kan worden gebracht, niet bepaald wordt door één specifieke parameter. Deze afweging is onderhevig aan een **complex samenspel** tussen technische aspecten, zoals: spanningslimieten, compensaties, beveiligingen en resonanties.

Vanuit risico-oogpunt kan geconcludeerd worden dat een **kabellengte van 8 km op een voldoende betrouwbare manier ondergronds** kan gebracht worden met 3 kabels per circuit. **Indien de samenstelling van de ondergrond het toelaat**, kan met 2 kabels per verbinding gewerkt worden, dit met een **kabellengte van maximaal 12 kilometer** tot gevolg. Elke extra kilometer ondergrondse kabel verhoogt de risico's aanzienlijk op het optreden van resonanties, spanningssprongen en uitbatingsrisico's waardoor de betrouwbaarheid niet meer gegarandeerd kan worden. Dit laatste zou onverantwoord zijn gelet op de significante gevolgen, niet alleen in België maar ook daarbuiten.

De verbinding realiseren op een **lager spanningsniveau** (bv. 220 kV) zal hieraan niet wijzigen, maar zou door toevoeging van het totale aantal componenten de **betrouwbaarheid verminderen**.

De experten wijzen er ook op dat het **vermogen van 6 GW niet uniek** is. Het ganse Belgische hoofdtransportnet wordt momenteel op 6 GW gebracht. In het buitenland zijn er vele voorbeelden van lijnen die zwaardere vermogens transporteren (zie voorbeelden in het rapport van de experten).

Voor vergelijkbare vermogens (6 GW) komt men in het buitenland niet tot langere afstanden ondergronds. Integendeel. Het doet het Belgische netbeheer behoren tot de selecte kring van netbeheerders die wel **degelijk bereid zijn om de limieten op te zoeken** van wat technisch haalbaar is, zonder evenwel onverantwoorde risico's te nemen.

Karakteristieken masten

Het planteam heeft, conform de aanpak die was voorzien in de Mededeling van 20 december 2019, in overleg met Elia een **overzicht gemaakt van de karakteristieken van enkele masttypes**. De selectie van de masten gebeurde op basis van een aantal criteria: enkel types die visuele impact of magneetvelden verkleinen, types die reeds gerealiseerd werden en types waarbij onderhoud op één circuit mogelijk is met het andere circuit in dienst. Volgende masttypes werden bekeken: Wintrack, Compacte vakwerkmast, Compactline, Eagle Tower en T-Pylon.

Het hoogspanningsnet in Vlaanderen bestaat quasi geheel uit vakwerkmasten. Tijdens de publieke consultatie werd omwille van de **bezorgdheid over magnetische velden** uitdrukkelijk gevraagd om ook de mogelijkheid van het gebruik van Wintrackmasten te bekijken. Dit is een type buismast en deze heeft dus een ander fysiek voorkomen dan de gekende vakwerkmasten.

De **compacte vakwerkmast en de Wintrackmast** zijn ontworpen voor toepassing in dicht bebouwde regio's zoals Vlaanderen. Deze twee masttypes hebben een **smallere zone van magnetische velden** dan alle andere masttypes.

De **traditionele vakwerkmast biedt geen voordelen** ten opzichte van deze masten en is dus niet meer relevant voor nieuwe hoogspanningslijnen, uitgezonderd voor speciale lijnconfiguraties (stopmasten, eindmasten, zeer hoge masten)

De **CompactLine, Eagle Tower en T-pylon** hebben als voordeel dat deze lager zijn, maar combineren dit met een veel bredere zone met geleiders en een **veel bredere magneetveldzone**. Deze zijn niet ontworpen voor en minder geschikt in dicht bebouwde regio's.

Bespreking tijdens de stakeholdergroepen

Praktische en inhoudelijke organisatie

Omwille van de voorzorgsmaatregelen die genomen worden naar aanleiding van Covid-19 zijn **geen fysieke bijeenkomsten** mogelijk geweest.

In een eerste fase werd een **schriftelijk advies gevraagd aan de experten** over de bijkomende rapporten die werden opgeleverd voor zowel gelijkstroom als wisselstroom.

In de tweede fase hebben de experten hun antwoorden op de vragen toegelicht aan de stakeholdersgroep. De **stakeholdergroep kwam in totaal 5 keer samen**, op 15, 17, 24 en 29 juni en op 2 juli. Voorafgaand aan het feitelijke overleg werd de context van de dubbelcheck toegelicht. Er werd toegelicht dat de dubbelcheck vertrekt vanuit de plandoelstellingen. Er werd ook benadrukt dat de kostprijs van bepaalde varianten geen deel uitmaakt van de dubbelcheck technologie. De impact op de mensen, dieren, milieu, landschap, elektriciteitstarieven, … komen volwaardig aan bod komen in het vervolg van het proces voor die varianten die technisch uitvoerbaar zijn. Alle **uitgevoerde onderzoeken werden gesitueerd** en de vragen die aan de experten werden gesteld worden gedeeld. Er werd afgesproken dat tijdens het stakeholdersoverleg alle mogelijke vragen aan de experten kunnen gesteld worden, zodat alles maximaal kan uitgeklaard worden.

Sessie 1: doelstellingen toegelicht

Tijdens de eerste sessie werden de doelstellingen toegelicht. Vanuit de stakeholdersgroep waren er **geen kritische opmerkingen over de doelstellingen**. Na de toelichting door de experten van de mogelijkheden van gelijkstroom werden veel bijkomende vragen gesteld, die vaak te maken hadden met het verder verduidelijken van de technische uitleg. De actiecomités verwoordden dat de gelijkstroomtechnologie te negatief wordt voorgesteld alsof er geen positieve kanten aan zijn. De experten ontkennen dat ten stelligste, want gelijkstroom wordt vandaag ook al toegepast, ook door Elia, waar het wel een optie is, zoals bij de recente verbindingen met het Verenigd Koninkrijk en Duitsland. De integratie van gelijkstroomverbindingen in een wisselstroomnetwerk zoals nodig in het Ventilus project zal wellicht ooit (zie verder) mogelijk zijn, maar daarvoor is het volgens alle experten nu te vroeg.

Vertegenwoordigers van de actiecomités toonden ter zitting ook **enkele alternatieve voorstellen.** Dit heeft voor wat animositeit gezorgd. Het was niet de bedoeling om alle voorstellen die tijdens de publieke consultatie werden gedaan, voor te leggen aan de experten, wanneer deze niet voldeden aan de plandoelstellingen . Deze dubbelcheck moet immers nagaan of de plandoelstelling van Ventilus in gelijkstroom kan gerealiseerd worden of niet, volgens welk schema dan ook. Indien de dubbelcheck degelijk werd uitgevoerd – om dat te bevestigen werden de onafhankelijke experten ingeschakeld – zou het antwoord op alle suggesties omtrent technologiekeuze met gelijkstroom moeten beantwoord kunnen worden. Het doet er dan niet meer toe in welke netconfiguratie dat dan wordt gebouwd. Om alle twijfel hierover weg te werken werd tijdens de stakeholdersessie **beslist om de voorstellen van de actiecomités toch te bespreken** tijdens een volgende sessie.

Sessie 2: Bijkomende vragen van stakeholders

Tijdens de tweede sessie werd ingegaan op de **bijkomende vragen** die de stakeholders hadden gesteld, zoals het verschil tussen wisselstroom en gelijkstroom, de verwachte belasting van de Ventiluslijn, uitgevoerde metingen over EMF bij Stevin-lijn, een toelichting van het advies uit de UK en een verdere duiding over de problemen van het 'zwakke' net in West-Vlaanderen waardoor alle effecten van spannings- en frequentiedeviaties worden uitvergroot. Door de expert van TenneT wordt ook ingegaan op Nederlandse aanpak mbt de keuze voor boven- of ondergrondse lijnen, die i.t.t. vele inspraakreacties weinig verschillend blijkt met de Vlaamse.

Ook de **aangereikte schema's** van de actiecomités werden geanalyseerd door de experten en beoordeeld als een complexere variant dan het alternatief dat door Elia was bestudeerd, zonder dat het een oplossing was voor het vastgestelde probleem in de minder complexe variant van Elia. Vanuit de afgevaardigden van de burgerplatformen binnen het stakeholdersplatform overheerste een ontgoocheling over het niet-weerhouden van deze aangereikte schema's.

Ze willen bijkomend onderzoek over **gelijkstroom** voor de case Ventilus, ondanks het unanieme advies van alle geconsulteerde experten dat gelijkstroom voor zelfs de meeste eenvoudige variant van het Ventilus-dossier geen optie is. Op de vraag wanneer gelijkstroom wel een optie zal zijn, wordt door de experten gesteld dat er nu Europese fondsen worden vrijgemaakt om deze effecten de komende 10 á 15 jaar via demo's te bestuderen waarna er mogelijk remedies kunnen voorgesteld worden die dan later op de markt kunnen gebracht worden. Sommige vertegenwoordigers van de actiecomités en de gemeenten stellen de vraag of het niet zinvol is om daarop te wachten.

Vanuit de actiecomités werd ook verwezen naar een **project in Azië** en men vraagt of de experten wel voldoende op de hoogte zijn van de technologische voorsprong van China. De experten bevestigen dat de technologische kennis over 'powersector' in Azië niet verder staat dan deze in Europa en dat Europa in deze sector nog steeds exporteur is van technologie. De projecten in China waarnaar wordt verwezen, zijn ook grootschalige bovengrondse gelijkstroomprojecten die niet geïntegreerd zijn in een wisselstroomnetwerk maar enkel dienen om grote afstanden te overbruggen, zoals Elia ook reeds doet in Duitsland, maar dan ondergronds. Deze toepassing is geen oplossing voor de uitdagingen van Ventilus.

Sessie 3: ondergrondse verbinding in wisselstroom

Tijdens de derde sessie worden de mogelijkheden van de ondergrondse verbinding in wisselstroom toegelicht. De **experten lichten toe** op welke wijze het onderzoek werd uitgevoerd en tot welke resultaten deze studies hebben geleid. In vergelijking met de conclusies in de startnota wordt nu ook de mogelijkheid voorzien om over een lengte van 12 kilometer ondergronds te gaan, indien de ondergrond een goede thermische geleiding heeft, omdat het benodigde aantal kabels in dat geval kan verminderen naar 2 i.p.v. 3 kabels per circuit.

Er worden ook antwoorden gegeven op een aantal vragen die frequent terugkwamen tijdens de publieke consultatie. Op de vraag waarom de lijnen niet in **ondergrondse geventileerde buizen** worden geplaatst, wordt door de experten verduidelijkt dat buizen wel worden gebruikt, maar zonder ventilatie om niet afhankelijk te zijn van een koelingssysteem. Daarbij komt ook aan bod dat de buizen geen effect hebben op breedte van de magnetische velden. Op vraag van een stakeholder naar de stand van zaken van de ondergrondse mogelijkheden van wisselstroom in Nederland, lichten de vertegenwoordigers van Tennet toe dat ze sinds 2019 geen absolute limiet meer aan de 380 kV kabel definiëren zoals tot dan het geval was, maar geval per geval de mogelijkheden onderzoeken volgens de methode (flowchart) die nu voor Ventilus werd gehanteerd.

Er wordt op vraag van stakeholders ingegaan of men Ventilus niet **partieel in 220 kV-kabels** kan aanleggen en daardoor langer ondergronds kan gegaan worden. Er wordt gewezen op de bijkomende complexiteit (met grote netverliezen en benodigde oppervlaktes) die zou worden ingebouwd met een verminderde betrouwbaarheid van het net zonder dat er op langere afstand ondergrond kan gegaan worden, waardoor dat vanuit technisch perspectief geen piste is om verder te onderzoeken.

Op de vraag waarom de **lus via de zee** tussen Zeebrugge en Koksijde geen haalbaar alternatief is, wijzen de experten op de afstandsbeperking voor dergelijke ondergrondse verbinding, waarbij nog meer kabels zouden nodig zijn en de haalbare ondergrondse afstand zelfs nog kleiner zou zijn.

De vraag om de kabels in de **bodem van de waterlopen** in te graven wordt ook besproken. Bevaarbare waterlopen zouden een breedte van minstens 22 meter moeten hebben, tijdens de aanlegfase of bij een incident zou deze waterloop gedurende een periode van maanden (aanleg) of weken (incident) onbevaarbaar zijn. De waterloop zou wellicht niet kunnen gebaggerd worden. Dit samenspel maakt dat nutsleidingen van deze omvang nergens in bevaarbare waterlopen worden gerealiseerd. Zelfs de verkopers van de noodzakelijke materialen zouden dat volgens een expert sterk afraden.

Op de bekommernis van een stakeholder dat de **resonanties** zelfs met een luchtlijn al dicht in de gevarenzone zouden komen, antwoorden de experten dat de marge van 116 Hz tov 100Hz voldoende groot is en dat er bovendien al rekening werd gehouden met alle gekende bijkomende aansluitingen. Van zodra er een concreet tracé gekend is, zullen alle detailstudies volledig worden uitgevoerd omdat ze afhankelijk zijn van de exacte topgrafie, maar op basis van de uitgevoerde studies zijn er op dit moment geen redenen om aan te nemen dat het project Ventilus in wisselstroom niet uitvoerbaar zou zijn.

Sessie 4: open agenda

De vierde sessie had een open agenda, omdat deze sessie als back up was voorzien voor de **eventuele openstaande vragen** voor het onderdeel van wisselstroom. Tijdens deze sessie wordt aan de experten de vraag gesteld of er geen pistes mogelijk zijn, indien bijvoorbeeld bovengrondse wisselspanningen zouden verboden worden. Volgens de experten gaan er binnen afzienbare tijd geen alternatieven zijn die aan de uitgangspunten voldoen.

De actiecomités stellen vervolgens nog **twee alternatieve schema's** voor. Ook deze voorstellen zijn volgens de experten geen oplossing voor de doelstellingen van een toekomstgericht hoogspanningsnetwerk aan de kust. De experten concluderen dat er bij het schrappen van bepaalde basisvereisten nog vele alternatieve schema's bedacht kunnen worden maar dat is niet de oefening van deze dubbelcheck voor de casus Ventilus.

Sessie 5: meer duiding over magnetische velden

Tijdens de vijfde en laatste sessie van de stakeholdersgroep werd op uitdrukkelijke vraag van bepaalde stakeholders meer duiding gegeven over de **technische aspecten van magnetische velden en het actuele beleid** hieromtrent. Hoewel dit geen voorwerp was van de dubbelcheck, werd hier wel op ingegaan. Er werd uitdrukkelijk afgesproken dat de beoordeling over de impact op de gezondheid geen deel uitmaakt van de stakeholdersgroep technologie maar wordt voorzien via de klankbordgroep gezondheid.

In de eerste plaats werd het **verschil tussen elektrische en magnetische velden** geduid. Een lamp met de stekker in het stopcontact zal, zelf als die uit staat en dus geen stroom krijgt, een elektrisch veld produceren. Zodra de lamp gaat branden, d.w.z. wanneer er stroom door de leiding vloeit,

ontstaat er naast het elektrisch veld ook een magnetisch veld. Alle toestellen aangesloten aan het elektriciteitsnet en dus ook de hoogspanningsinstallaties van Elia brengen zo elektrische en magnetische velden (EMV) voort met een extreem lage frequentie (ELF).

Vervolgens werd het **beleidskader toegelicht**. Dat is verschillend bij acute hoge blootstelling en bij langdurige lage blootstelling:

- Bij een **acute hoge blootstelling** aan ELF-MV kunnen er effecten optreden in het lichaam (tintelingen etc.). Op basis van allerlei studies heeft de International Commission for Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) in 2010 richtlijnen opgesteld voor de blootstelling aan magnetische velden: **maximaal 200μT voor het algemeen publiek**. Deze richtlijn is uit veiligheidsoverwegingen conservatief zodat rekening gehouden wordt met gevoeligere mensen en geldt niet voor professionelen. De Europese Raad heeft in 1999 een aanbeveling opgesteld voor 100 μT voor wat betreft acute blootstelling, die nog niet werd geactualiseerd aan de hogere waarde van het ICNIRP. In Vlaanderen wordt de waarde van het ICNIRP gebruikt in het binnenmilieubesluit als interventiewaarde. Er werd in Vlaanderen voor de **interventiewaarde 10% (of 20 μT)** genomen van waarde die in de richtlijn voorgesteld wordt (200μT) om effecten op het lichaam te vermijden.
- Voor de risico's bij een **langdurige lage blootstelling** is er sinds een epidemiologische studie in 1979 die een mogelijk verband met kinderleukemie suggereert, veel wetenschappelijke aandacht besteed aan de problematiek. Dit statistisch verband werd de voorbije decennia uitgebreid bestudeerd in de epidemiologie. Uiteindelijk klasseerde IARC (het Internationaal Agentschap voor Onderzoek naar Kanker) in 2002 op basis van deze studies de ELF magnetische velden als mogelijk kankerverwekkend bij een langdurige (meer dan 1 jaar) dagelijkse gemiddelde blootstelling boven 0,4 microtesla. In tegenstelling tot de epidemiologie blijven experimentele studies (labo onderzoek) in gebreke om dit statistische verband te kunnen verklaren en blijft de discussie (en de onzekerheid) onveranderlijk voortbestaan. Tot op heden is nog steeds geen bewijs voor een causaal verband gevonden tussen ELF-MV en een verhoogd risico op leukemie bij kinderen. Het is tegelijk onmogelijk te bewijzen dat het ELF-MV volledig onschadelijk is. Dat is voldoende om een **beleid gebaseerd op het voorzorgsprincipe** toe te passen. Dat betekent dat het aangepast moet zijn aan het gewenste beschermingsniveau (proportioneel) en niet discriminerend is (in aard en omvang gelijkaardig aan vorige maatregelen die voor gelijkaardige risico's waarvoor wel voldoende wetenschappelijke gegevens zijn). Dit is internationaal (o.a. Wereldgezondheidsorganisatie) en nationaal (o.a. Gezondheidsraad Nederland, Hoge Gezondheidsraad van België) algemeen aanvaard. In het kader van dit voorzorgbeleid wordt verder onderzoek uitgevoerd en wordt op regelmatige wijze over de evolutie van de kennis gerapporteerd door wetenschappelijke organisaties en instituten.
- Tijdens een **consultatietraject** met experten en maatschappelijke actoren uit 2010 en 2011 werd de wetenschappelijke informatie bekeken en beoordeeld. De conclusie was toen dat indien er een oorzakelijk verband zou vastgesteld worden een normerend preventiebeleid gepast is, als er geen oorzakelijk verband kan aangetoond worden is een voorzorgsbeleid gepast dat rekening houdt met de proportionaliteit van de maatregelen. Vervolgens heeft de Vlaamse Regering dit voorzorgbeleid voor nieuwe luchtlijnen **vertaald in een Mededeling aan de Vlaamse regering**[4] welke vraagt het aantal bestaande woningen die overspannen worden/ binnen de 0,4μT corridor vallen, tot een minimum te beperken. Beseffende dat het magnetisch veld onder hoogspanningslijnen meer dan 0.4μT bedraagt en dat in een dichtbevolkte regio als Vlaanderen met wijdverspreide bebouwing het onvermijdelijk is dat woningen langs het tracé zullen liggen.

[4] VR 2012 0106 MED.0252/1

- Als kader wordt ook het **Binnenmilieubesluit[5] gehanteerd** dat om de kwaliteit van het binnenmilieu zo optimaal mogelijk te houden, voor 26 verschillende chemische, fysische en biologische factoren richt- en interventiewaarden heeft vastgelegd, waaronder magnetische velden. Voor wat betreft de langdurige blootstelling is dat dezelfde waarde als in de bovenstaande Mededeling, nl. 0,4 μT. Toepassing van dit voorzorgsbeleid zal deel uitmaken van de beoordeling van de effectengroepen in de plan-MER.

Aansluitend werd door Elia een **toelichting gegeven over de verwachte jaargemiddelde belasting** van de Ventilus-as: indien er 7 GW wordt aangesloten op Stevin én Ventilus zal deze maximaal 25,8% (gezien de variabiliteit van wind die soms heel hoog kan zijn, maar op andere momenten er niet is) zijn; indien men rekening houdt met een hypothetisch toekomstscenario van 8 GW zou de jaargemiddelde belasting van de Ventilus-as maximaal 28,5% zijn. Het departement Omgeving stelt daarom voor om voor de plan-MER rekening te houden met 30% jaargemiddelde belasting. Het aantal woningen en kinderen dat binnen de mogelijke corridors van 0,4μT zullen vallen en de eventuele risico's die daarmee gepaard zullen in de plan-MER opgelijst worden. Op vraag van de stakeholders werden de gemiddelde magneetveldzones van 0,4 μT toegelicht bij de gemiddelde jaarbelasting van 30%, zowel voor de luchtlijnen voor diverse soorten masten als voor ondergrondse kabels. Op vraag van de actiecomités gebeurde dit ook bij een theoretische belasting van 100%.

In de procesnota die aan de Vlaamse Regering werd voorgelegd op 20 december werd de oprichting voorzien van een **klankbordgroep van gezondheidsspecialisten** om het proces mee te begeleiden voor wat betreft alle elementen die te maken hebben met gezondheid. Deze werd intussen opgericht en deze groep evalueert momenteel de laatste stand van zaken van het wetenschappelijke onderzoek, zodat kan geoordeeld worden over op wetenschappelijke kennis gebaseerde redenen zouden zijn om het actuele voorzorgsbeleid bij te stellen of te evolueren naar een normerend beleid.

Door sommige stakeholders werd het huidige beleid onvoldoende geïntegreerd ervaren en ze bleken **vragende partij voor een monitoring** van de (jaargemiddelde) belasting. Er werden ook vragen gesteld bij het feit dat Elia momenteel als enige partij fysieke metingen uitvoert op verzoek van omwonenden. Vanuit Elia werd verklaard dat ze dit doen als dienstverlening omdat de overheid daar al een tijdje mee is gestopt maar er nog wel af en toe vraag naar was. Elia staat wel positief ten opzichte van de vraag om de metingen en monitoring door de overheid te laten uitvoeren.

Tenslotte werden op dat extra overleg ook de **karakteristieken van verschillende soorten masten** toegelicht.

Terugkoppeling naar de 'tweede tafel'

Na het overleg met de vertegenwoordigers heeft er een terugkoppeling plaatsgevonden aan het **planbegeleidingsteam** (middenveld), de burgemeesters of hun vervangers en de actiecomités. De procesbegeleider trad op ter ondersteuning en bracht verslag uit van de bezorgdheden die aan bod kwamen tijdens de stakeholdergroep. Er was ook telkens een expert op deze terugkoppelingsmomenten aanwezig.

[5] Besluit van de Vlaamse regering van 11 juni 2004 houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu. Recent nog herzien het Besluit van de VR van 13 juli 2018.

Tijdens deze momenten werden door de burgemeesters en het middenveld nog **bijkomende vragen gesteld waarop verduidelijking werd geboden**. Bij de terugkoppeling naar de actiecomités benadrukten de actiecomités dat ze niet akkoord gaan met de resultaten van de dubbelcheck en herhaalden hun vragen naar bijkomende studies en uitten hun bezorgdheid over de impact van de hoogspanningsinfrastructuur op de gezondheid.

Door het planteam werd verduidelijkt dat de resultaten van de dubbelcheck zouden **teruggekoppeld worden naar de minister** en dat nu de inspraakreacties kunnen onderzocht worden om te komen tot een scopingnota.

Conclusies van het planteam

Wisselstroom enige kansrijke technologie: bij de dubbelcheck door de experten en de bespreking hierover met de stakeholders blijkt dat de uitdagingen van Ventilus alleen kunnen gerealiseerd worden met een hoogspanningsverbinding in wisselstroom. De bemerking rond de impact op gezondheid hierover, wordt volwaardig meegenomen in het verdere onderzoek. Een ondergronds gedeelte van in totaal maximaal 8 kilometer is wel mogelijk. Afhankelijk van de thermische geleiding van de bodem kan deze afstand opgetrokken worden tot 12 kilometer.

Zowel **Wintrack en compacte masten**: het planteam stelt voor om in de scopingnota rekening te houden met zowel de compacte vakwerkmast als de Wintrackmast. Het meenemen van deze projectkenmerken in het onderzoek op planniveau kan leiden tot een betere planvorming en een eenvoudigere mastkeuze in de projectfase.

Elektromagnetische velden: het planteam stelt voor om in samenspraak met de klankbordgroep gezondheid en het Agentschap Zorg en Gezondheid de coherentie van de huidige regelgeving met betrekking tot blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen en andere bronnen van extreem laagfrequente elektromagnetische velden, uiterlijk tegen de voorlopige vaststelling van het GRUP te evalueren en hun bevindingen voor te leggen aan de Vlaamse Regering.

Bijlagen op de website Ventilus

Elia (2020): *Studie rapport - Ventilus in gelijkstroom*

Elia (2020): *Studie rapport - Ventilus in wisselstroom*

Manitoba (2020): *Technische nota - Technical Challenges & Risks of HDVC Transmission for Ventilus*

EnergyVille (2020): *Technische nota - Resonance and Transient Behavior of Extensive Cable Grid*

Expertengroep Technologie (2020): *Samenvattend rapport - Conclusie experten over gelijkstroom*

Expertengroep Technologie (2020): *Samenvattend rapport - Conclusie experten over wisselstroom*

HVDC Centre Schotland (2020): *Bijkomend advies - Conclusie HVDC Centre over gelijkstroom*

Planteam Ventilus (2020): *Presentatie - Terugkoppeling aan stakeholdergroep Ventilus*

Produced by: Ben Marshall 15th June 2020
Reviewed by: Ian Cowan 15th June 2020
Approved by: Simon Marshall 15 th June 2020

This review is subject to the information made available from the Flemish administration in connection with this project and strictly represents the informed opinion of The National HVDC Centre based on this project information and the available supporting data as referenced at this time. This opinion has been provided for the sole purpose of further informing the review of the specifics of the project options provided and The National HVDC Centre should be contacted ahead of this material or opinion being used for any other purpose.

The opinions provided in this report, are solely the technical perspective of The National HVDC Centre, and do not necessarily represent the views of SSEN, SHE Transmission or SSE.

The National HVDC Centre is part of Scottish and Southern Electricity Networks (SSEN) and is funded through the Electricity Network Innovation Competition (NIC) as the Multi-Terminal Test Environment (MTTE) Project. Scottish and Southern Electricity Networks is a trading name of Scottish Hydro Electric Transmission plc, Registered in Scotland No. SC213461, having its Registered Office at Inveralmond House, 200 Dunkeld Road, Perth, PH1 3AQ; and is a member of the SSE Group www.ssen.co.uk

The Ventilus Project: the technical maturity/ viability of alternate HVDC Options

The National HVDC Centre (hereafter "the Centre") has been requested by Flemish administration to undertake an assessment of the technical options considered by Ellia, to provide its informed opinionas to whether such options are:

- Technically viable within the timeframes of the project (noting risks and considerations which influence this); and
- Whether the approach is technically mature in this time frame (i.e. where technologies and other solutions are available within the implementation timeframe of this project).

The Centre has been provided with the following 3 documents describing the project and its options:

1. {Elia Group} Study on the use if HVDC for the Ventilus Corridor;
2. {Manitoba Hydro} Technical Note - Technical Challenges & Risks of HVDC Transmission for Ventilus and Loop of Hainaut Corridors; and
3. {Ventilus} Context of the technology review for the Ventilus project.

The Ventilus project is intended to deliver against the following key principles. The table below summarises our opinion in these areas.

Principles	Key HVDC implementation factors	Key risk factors	Conclusion
Transmission Capacity of 6GW in normal conditions (N)	Would require at least 3 distinct and separate circuits [1], not subject to common mode failure. This would require additional AC infrastructure to interface and additional separate HVDC infrastructure.	Technology not currently available for 2 x 3GW [2], possible for c. 3x 2GW around time of implementation [1].	Insufficient technical maturity for an exactly equivalent HVDC approach.
Transmission capacity of at least 3 GW during maintenance or incidents (N-1)			
Route not yet known, length of 80 to 90 km per corridor	HVDC is not subject to a maximum distance consideration.	None.	HVDC solution available.

Principles	Key HVDC implementation factors	Key risk factors	Conclusion
Possibility of integration with the local transmission system to allow for regional development	HVDC project would need to be designed from the outset with new connections in mind [3], to ensure future control viability. Multi terminal solutions may require additional infrastructure (e.g. DC Circuit breakers & new protections) [4].	Use of discriminated protection DCCB Multi-terminal technology not mature in time to meet intended delivery programme [5].	Insufficient maturity and technical viability to consider in the available delivery timeline.
Very stable operation within the meshed backbone network	Given system weakness, new grid forming concepts [6], and/or synchronous condensers would be necessary [7].	HVDC control, network stability protection & control [8].	Insufficient viability and maturity- would be of high technical risk and first project internationally to attempt such a solution.

HVDC technology particularly in its application using Voltage Source Convertors is a mature and highly flexible technology, with examples of in delivery up to 1400MW [9]. The conventional control concept for this mature technology however relies up measurement of the system to complement its behaviour. In conditions of system weakness, as may be measured by regional inertia and short circuit level, these controls may be compromised and a range of risks may arise - which must be mitigated both at the design stage and effectively monitored and managed across the life of such solutions. Whilst there is precedent for doing this (The National HVDC Centre currently supports the operation of a parallel HVDC link, which is expected to evolve into the first multi-terminal HVDC project in Europe [10]) its connection context and network strength across operation presents a lesser challenge in design, operation and management than the intended function of the Ventilus project would represent.

Given the complexity of this design concept, particularly in its necessary control and protection combined with its intended capacity requirement, the Centre's opinion would concur with the Ellia conclusion that HVDC solutions are not yet at a position to fulfil the intended range of needs.

Were such proposals taken forward in some manner (e.g. several lower scale HVDC developments) to a later timeframe allowing for the necessary design considerations of the HVDC system to be addressed, the control concepts required would still continue be "first-in-generation". Whilst these would be more practicable with more time for their development and validation these solutions would still need to be carefully monitored and managed across the design and commissioning and project life. Such analysis would require a level of detail and completeness of the control and protection - of the Ventilus project, the existing NEMO link and the existing and future convertor based connections (offshore wind etc) in the area - which is not normally exchanged. Use of replica control and protection of each project in real time digital simulation, with Hardware-in-the-loop (RTDS-HiL) in combination with a detailed Ellia network model would be recommended to achieve the necessary standards of verification of performance needed.

Finally, we note that the Elia report does not mention the evolving challenges of protection performance upon the AC network for low system strength conditions [11]. We would additional recommend, were such HVDC solutions progressed for the Ventilus project, combining Interconnector, Wind and new HVDC control & protection replicas or models with the physical protections of the AC network, together with their recommended settings to ensure there is

no risk of protection maloperation and the cascade losses of connections in this area that could result from such situations [12].

Regards,

Ben Marshall

HVDC Technology Manager.

T: +44 (0) 1236 687 246

M: +44 (0) 755 302 3150

W: hvdccentre.com;

E: Benjamin.Marshall@sse.com

Appendix A: the Ventilus Project and its HVDC options (from {Manitoba Hydro} Technical Note - Technical Challenges & Risks of HVDC Transmission for Ventilus and Loop of Hainaut Corridors)

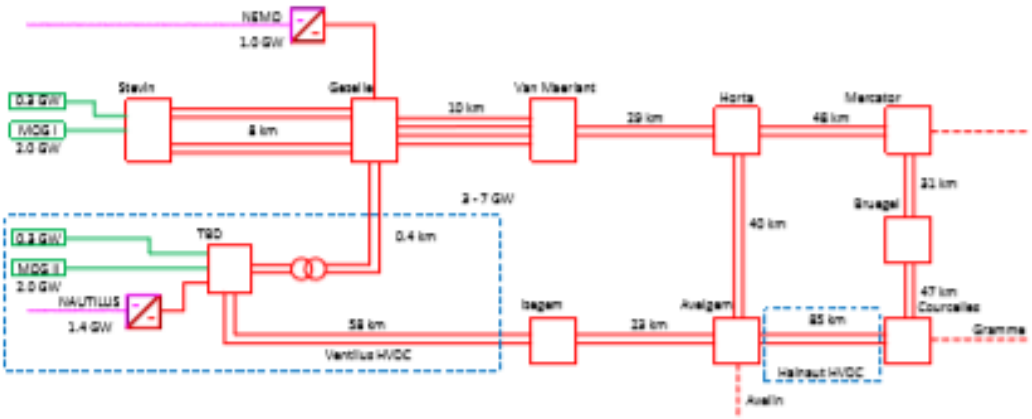


Figure 1: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVAC Option

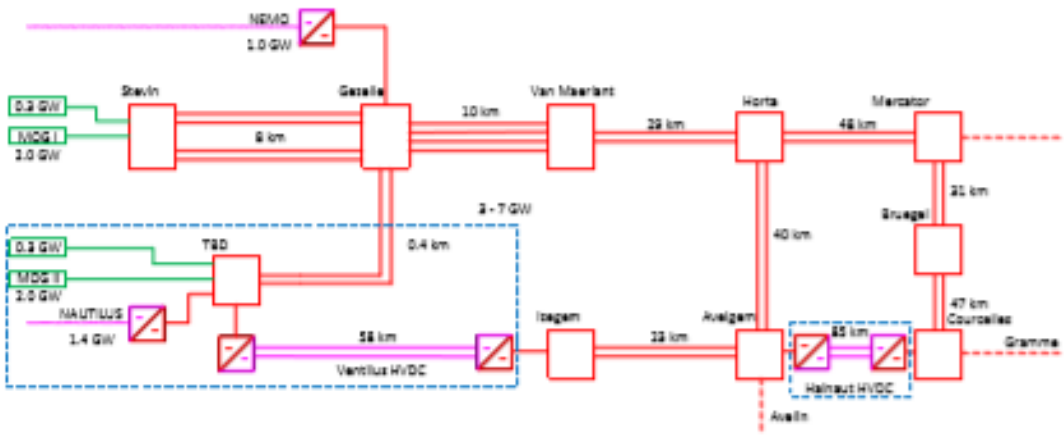


Figure 2: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVDC Option

References (in addition to provided documents)

[1] submarine and onshore cable capabilities for HVDC https://www.europacable.eu/wp-content/uploads/2019/06/Joint-paper-HVDC-Cable-Reliability-ENTSO-E-Europacable_FINAL_13.06.2019.pdf

PSC (2014). Grid West Project. HVDC Technology Review. http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/Grid-West-HVDC-Technology-Review-Report-PSC.pdf

[2] OWIC (2019). Enabling Efficient Development of Transmission Networks of Offshore Wind Targets. https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/161477
National Grid ESO (2020). Network Options Assessment. https://www.nationalgrideso.com/document/162356/download

[3] Requirements for the specification of multi-terminal DC grids https://www.promotion-offshore.net/results/deliverables/

[4] National HVDC centre webinar series https://www.promotion-offshore.net/news_events/news/detail/online-event-demonstration-of-dc-grid-protection/

[5] PROMOTioN project, for example https://www.promotion-offshore.net/news_events/news/detail/test-environment-for-hvdc-circuit-breakers/

[6] ENTSO-e sub-group: grid forming convertor guidelines https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Publications/SOC/High_Penetration_of_Power_Electronic_Interfaced_Power_Sources_and_the_Potential_Contribution_of_Grid_Forming_Converters.pdf

NERC requirements on high invertor dominated environments
https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Item_4a._Integrating%20_Inverter-Based_Resources_into_Low_Short_Circuit_Strength_Systems_-_2017-11-08-FINAL.pdf

https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Reliability_Guideline_IBR_Interconnection_Requirements_Improvements.pdf

National HVDC centre webinar series- convertor instability findings. https://www.hvdccentre.com/wp-content/uploads/2020/02/Stability-Assessment-and-Mitigation-of-Interactions_V2.pdf

https://www.hvdccentre.com/2020/03/hvdc-centre-and-cardiff-university-host-webcast-on-hvdc-grid-code-challenges/

National Grid ESO, System Operability Framework. https://www.nationalgrideso.com/research-publications/system-operability-framework-sof

[7] National Grid ESO Stability pathfinder requirements, 2019 https://www.nationalgrideso.com/research-publications/network-options-assessment-noa/network-development-roadmap

National HVDC centre 2020/21 research programme
https://www.hvdccentre.com/innovation/dc_with_ac_protection/

[8] NERC requirements on high invertor dominated environments
https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Item_4a._Integrating%20_Inverter-Based_Resources_into_Low_Short_Circuit_Strength_Systems_-_2017-11-08-FINAL.pdf

https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Reliability_Guideline_IBR_Interconnection_Requirements_Improvements.pdf

National HVDC centre 2020/21 research programme
https://www.hvdccentre.com/innovation/dc_with_ac_protection/

https://www.hvdccentre.com/ac-protection-dc-energisation/

[9] National Grid ESO (2020). Interconnector Register. Accessed 15th June 2020.
https://www.nationalgrideso.com/connections/registers-reports-and-guidance

[10] Caithness-Morray HVDC project, National HVDC centre. https://www.hvdccentre.com/our-projects/caithness-moray/

[11] EU MIGRATE Horizon 2020 project, Systematic challenges https://www.h2020-migrate.eu/_Resources/Persistent/9bf78fc978e534f6393afb1f8510db86e56a1177/MIGRATE_D1.1_final_TenneT.pdf

National HVDC centre; NSL project protection de-risking https://www.hvdccentre.com/our-projects/north-sea-link-protection-coordination-testing/

[12] National HVDC centre and RTDS technologies Ltd, Practical Use of Real Time Simulation for De-risking HVDC Integration https://www.hvdccentre.com/rtds-webinar/

Opgesteld door: Ben Marshall, 15 juni 2020
Beoordeeld door: Ian Cowan, 15 juni 2020
Goedgekeurd door: Simon Marshall, 15 juni 2020

Deze beoordeling is gebaseerd op de informatie die door de Vlaamse administratie in verband met dit project ter beschikking is gesteld, en geeft strikt het weloverwogen advies weer van het National HVDC Centre op basis van deze projectinformatie en de beschikbare ondersteunende gegevens zoals die op dit moment worden vermeld. Dit advies is uitsluitend verstrekt om de beoordeling van de specifieke kenmerken van de geboden projectopties verder te onderbouwen, en er moet contact worden opgenomen met het National HVDC Centre voordat dit materiaal of advies voor enig ander doel wordt gebruikt.

De adviezen die in dit rapport worden gegeven, vormen uitsluitend het technische perspectief van het National HVDC Centre en vertegenwoordigen niet noodzakelijk de standpunten van SSEN, SHE Transmission of SSE.

Het National HVDC Centre is een onderdeel van Scottish and Southern Electricity Networks (SSEN) en wordt gefinancierd via de Electricity Network Innovation Competition (NIC) als het Multi-Terminal Test Environment-project (MTTE-project). Scottish and Southern Electricity Networks is een handelsnaam van Scottish Hydro Electric Transmission plc, geregistreerd in Schotland onder het nr. SC213461, met maatschappelijke zetel te Inveralmond House, 200 Dunkeld Road, Perth, PH1 3AQ; en is lid van de SSE Group www.ssen.co.uk

Ventilus-project: de technische maturiteit/levensvatbaarheid van alternatieve HVDC-opties

Het National HVDC Centre (hierna 'het Centre') is door de Vlaamse administratie verzocht om een beoordeling uit te voeren van de door Elia overwogen technische opties, teneinde zijn weloverwogen advies te verstrekken over de vraag:

- Of deze opties technisch levensvatbaar zijn binnen de tijdschema's van het project (met vermelding van risico's en overwegingen die hierop van invloed zijn); en
- Of de benadering in dit tijdschema technisch matuur is (d.w.z. of er technologieën en andere oplossingen beschikbaar zijn binnen het uitvoeringstijdschema van dit project).

Het Centre heeft de volgende 3 documenten ontvangen waarin het project en de opties ervan worden beschreven:

1. {Elia Group} Studie naar het gebruik van HVDC voor de Ventilus-corridor;
2. {Manitoba Hydro} Technische Nota - Technische uitdagingen en risico's van HVDC-transmissie voor de corridors Ventilus en Boucle du Hainaut; en
3. {Ventilus} Context van de beoordeling van de technologie voor het Ventilus-project.

Het Ventilus-project is bedoeld om de volgende hoofdbeginselen te verwezenlijken. De onderstaande tabel bevat een samenvatting van ons advies op deze gebieden.

Beginselen	Sleutelfactoren voor HVDC-uitvoering	Sleutelrisicofactoren	Conclusie
Transmissiecapaciteit van 6 GW in normale omstandigheden (N)	Zou ten minste 3 afzonderlijke en gescheiden circuits vereisen [1], die niet onderhevig zijn aan meervoudige storingen. Dit zou extra wisselstroominfrastructuur voor de koppeling en extra gescheiden HVDC-infrastructuur vereisen.	Technologie momenteel niet beschikbaar voor 2 x 3 GW [2], mogelijk voor c. 3 x 2 GW rond het tijdstip van de uitvoering [1].	Ontoereikende technische maturiteit voor een precies gelijkwaardige HVDC-benadering.
Transmissiecapaciteit van ten minste 3 GW tijdens onderhoud of incidenten (N-1)			
Traject nog niet bekend, lengte van 80 tot 90 km per corridor	Voor HVDC geldt geen maximumafstandsoverweging.	Geen.	HVDC-oplossing beschikbaar.

Beginselen	Sleutelfactoren voor HVDC-uitvoering	Sleutelrisico-factoren	Conclusie
Mogelijkheid van integratie in het plaatselijke transmissiesysteem om een regionale ontwikkeling mogelijk te maken	HVDC-project zou vanaf het begin moeten worden ontworpen met nieuwe verbindingen in het achterhoofd [3], om de toekomstige levensvatbaarheid van de regeling te garanderen. Oplossingen met meerdere terminals kunnen extra infrastructuur vereisen (bv. gelijkstroomschakelaars en nieuwe beveiligingen) [4].	Gebruik van gelijkstroom-schakelaar-technologie met meerdere terminals voor gedifferentieerde beveiliging niet op tijd matuur om aan het voorgenomen leverings-programma te voldoen [5].	Ontoereikende maturiteit en technische levensvatbaarheid om in het beschikbare leveringstijdschema in aanmerking te nemen.
Zeer stabiele werking binnen het vermaasde backbonenet	Gezien de zwakte van het systeem zouden nieuwe netvormende concepten [6] en/of synchrone condensatoren nodig zijn [7].	HVDC-regeling, beveiliging en regeling van de netstabiliteit [8].	Ontoereikende levensvatbaarheid en maturiteit – zou een hoog technisch risico inhouden en het eerste project in de wereld zijn dat een dergelijke oplossing uitprobeert.

Vooral in de toepassing ervan met spanningsbronconvertoren is HVDC-technologie een mature en zeer flexibele technologie, met voorbeelden van levering tot 1400 MW [9]. Het conventionele regelconcept voor deze mature technologie berust echter op metingen van het systeem om het gedrag ervan aan te vullen. Als het systeem zwak is, wat kan worden gemeten aan de hand van de regionale inertie en het kortsluitniveau, kunnen deze regelingen in het gedrang komen en kan een reeks risico's ontstaan, die zowel in de ontwerpfase moeten worden beperkt als doeltreffend moeten worden gecontroleerd en beheerd tijdens de levensduur van dergelijke oplossingen. Hoewel er een precedent bestaat om dit te doen (het National HVDC Centre ondersteunt momenteel de werking van een parallelle HVDC-verbinding, die naar verwachting zal uitgroeien tot het eerste HVDC-project met meerdere terminals in Europa [10]), vormt de context van de verbinding en de sterkte van het net gedurende de volledige werking een minder grote uitdaging qua ontwerp, werking en beheer dan de beoogde functie van het Ventilus-project zou vormen.

Gezien de complexiteit van dit ontwerpconcept, met name wat betreft de noodzakelijke regeling en beveiliging in combinatie met de beoogde capaciteitsbehoefte ervan, zou het advies van het Centre overeenstemmen met de conclusie van Elia dat HVDC-oplossingen nog niet in staat zijn om aan de beoogde reeks behoeften te voldoen.

Mochten dergelijke voorstellen op een of andere manier worden gerealiseerd (bv. verschillende HVDC-ontwikkelingen op kleinere schaal) in een later stadium, waardoor de nodige ontwerpoverwegingen van het HVDC-systeem aan de orde kunnen komen, dan zouden de vereiste regelconcepten nog altijd de 'eerste van een nieuwe generatie' zijn. Hoewel deze oplossingen beter uitvoerbaar zouden zijn als er meer tijd was voor de ontwikkeling en validatie ervan, zouden ze nog altijd zorgvuldig moeten worden gecontroleerd en beheerd tijdens de volledige duur van de ontwerp- en de inbedrijfstellingsfase en de volledige levensduur van het project. Een dergelijke analyse zou een mate van gedetailleerdheid en volledigheid vereisen van de regeling en beveiliging - van het Ventilus-project, de bestaande NEMO-verbinding en de bestaande en toekomstige op convertoren gebaseerde verbindingen (offshore windenergie enz.) in het gebied - die normaal niet wordt uitgewisseld.
Het gebruik van een replicaregeling en -beveiliging van elk project in een realtime digitale simulatie, met Hardware-in-the-loop (RTDS-HiL) in combinatie met een gedetailleerd Elia-netmodel, zou worden aanbevolen om aan de noodzakelijke normen voor de verificatie van de nodige prestaties te voldoen.

Ten slotte merken we op dat het Elia-rapport geen melding maakt van de evoluerende uitdagingen van de beveiligingsprestaties op het wisselstroomnet voor omstandigheden waarin de systeemsterkte laag is [11]. Indien dergelijke HVDC-oplossingen voor het Ventilus-project worden ontwikkeld, bevelen wij bovendien aan om interconnector-, wind- en nieuwe HVDC-regel- en -beveiligingsreplica's of -modellen te combineren met de fysieke beveiligingen van het wisselstroomnet, samen met de aanbevolen instellingen ervan, om ervoor te zorgen dat er geen gevaar bestaat voor een slecht functionerende beveiliging en voor cascadeverliezen van verbindingen in dit gebied die uit dergelijke situaties zouden kunnen voortvloeien [12].

Met vriendelijke groeten,

Ben Marshall

HVDC Technology Manager.

T: +44 (0) 1236 687 246

M: +44 (0) 755 302 3150

W: hvdccentre.com;

E: Benjamin.Marshall@sse.com

Bijlage A: het Ventilus-project en de HVDC-opties ervan (van {Manitoba Hydro} Technische Nota - Technische uitdagingen en risico's van HVDC-transmissie voor de corridors Ventilus en Boucle du Hainaut)

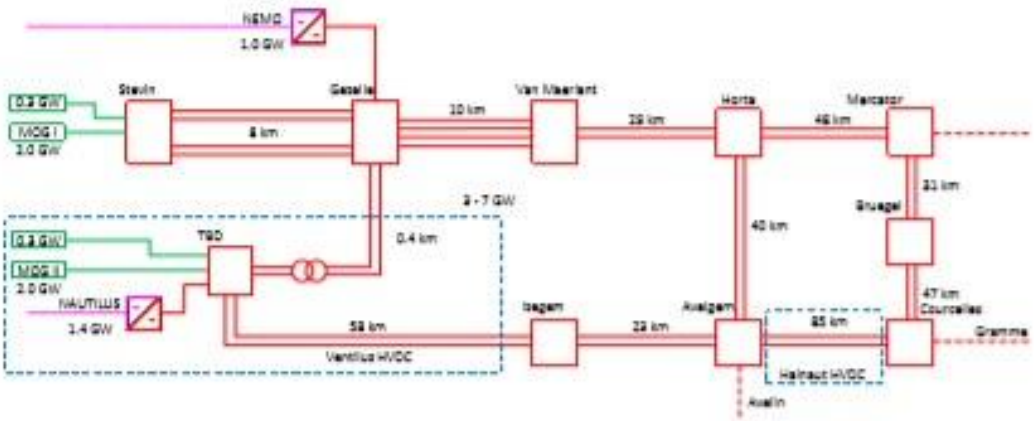


Figure 1: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVAC Option

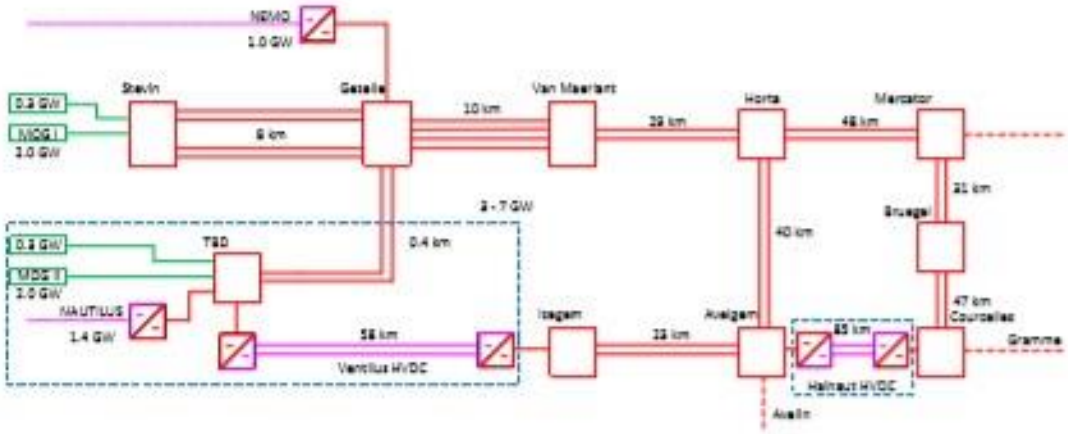


Figure 2: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVDC Option

Referenties (naast de verstrekte documenten)

[1] onderzeese en onshore kabelcapaciteiten voor HVDC https://www.europacable.eu/wp-content/uploads/2019/06/Joint-paper-HVDC-Cable-Reliability-ENTSO-E-Europacable_FINAL_13.06.2019.pdf

PSC (2014). Grid West Project. HVDC Technology Review. http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/Grid-West-HVDC-Technology-Review-Report-PSC.pdf

[2] OWIC (2019). Enabling Efficient Development of Transmission Networks of Offshore Wind Targets.
https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/161477
National Grid ESO (2020). Network Options Assessment.
https://www.nationalgrideso.com/document/162356/download

[3] Eisen voor de specificatie van gelijkstroomnetten met meerdere terminals
https://www.promotion- offshore.net/results/deliverables/

[4] Webinarreeks van het National HVDC Centre https://www.promotion-offshore.net/news_events/news/detail/online-event-demonstration-of-dc-grid-protection/

[5] PROMOTioN-project, bijvoorbeeld https://www.promotion-offshore.net/news_events/news/detail/test-environment-for-hvdc-circuit-breakers/

[6] ENTSO-e-subgroep: richtlijnen voor netvormende convertoren
https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Publications/SOC/High_Penetration_of_Power_Electronic_Interfaced_Power_Sources_and_the_Potential_Contribution_of_Grid_Forming_Converters.pdf

NERC-eisen voor door hoge omvormers gedomineerde omgevingen
https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Item_4a._Integrating%20_Inverter-Based_Resources_into_Low_Short_Circuit_Strength_Systems_-_2017-11-08-FINAL.pdf

https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Reliability_Guideline_IBR_Interconnection_Requirements_Improvements.pdf

Webinarreeks van het National HVDC Centre - bevindingen over de instabiliteit van convertoren.
https://www.hvdccentre.com/wp- content/uploads/2020/02/Stability-Assessment-and-Mitigation-of-Interactions_V2.pdf

https://www.hvdccentre.com/2020/03/hvdc-centre-and-cardiff-university-host-webcast-on-hvdc-grid-code-challenges/

National Grid ESO, System Operability Framework. https://www.nationalgrideso.com/research-publications/system-operability-framework-sof

[7] National Grid ESO Stability pathfinder-eisen, 2019 https://www.nationalgrideso.com/research-publications/network-options-assessment-noa/network-development-roadmap

National HVDC Centre-onderzoeksprogramma 2020/21
https://www.hvdccentre.com/innovation/dc_with_ac_protection/

[8] NERC-eisen voor door hoge omvormers gedomineerde omgevingen
https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Item_4a._Integrating%20_Inverter-Based_Resources_into_Low_Short_Circuit_Strength_Systems_-_2017-11-08-FINAL.pdf

https://www.nerc.com/comm/PC_Reliability_Guidelines_DL/Reliability_Guideline_IBR_Interconnection_Requirements_Improvements.pdf

National HVDC Centre-onderzoeksprogramma 2020/21
https://www.hvdccentre.com/innovation/dc_with_ac_protection/

https://www.hvdccentre.com/ac-protection-dc-energisation/

[9] National Grid ESO (2020). Interconnectorregister. Geraadpleegd op 15 juni 2020. https://www.nationalgrideso.com/connections/registers-reports-and-guidance

[10] Caithness-Morray HVDC-project, National HVDC Centre. https://www.hvdccentre.com/our-projects/caithness-moray/

[11] EU MIGRATE Horizon 2020-project, systematische uitdagingen https://www.h2020-migrate.eu/_Resources/Persistent/9bf78fc978e534f6393afb1f8510db86e56a1177/MIGRATE_D1.1_final_TenneT.pdf

National HVDC Centre; risicobeperking NSL-projectbeveiliging https://www.hvdccentre.com/our-projects/north-sea-link-protection-coordination-testing/

[12] National HVDC Centre en RTDS technologies Ltd, Practical Use of Real Time Simulation for De-risking HVDC Integration https://www.hvdccentre.com/rtds-webinar/

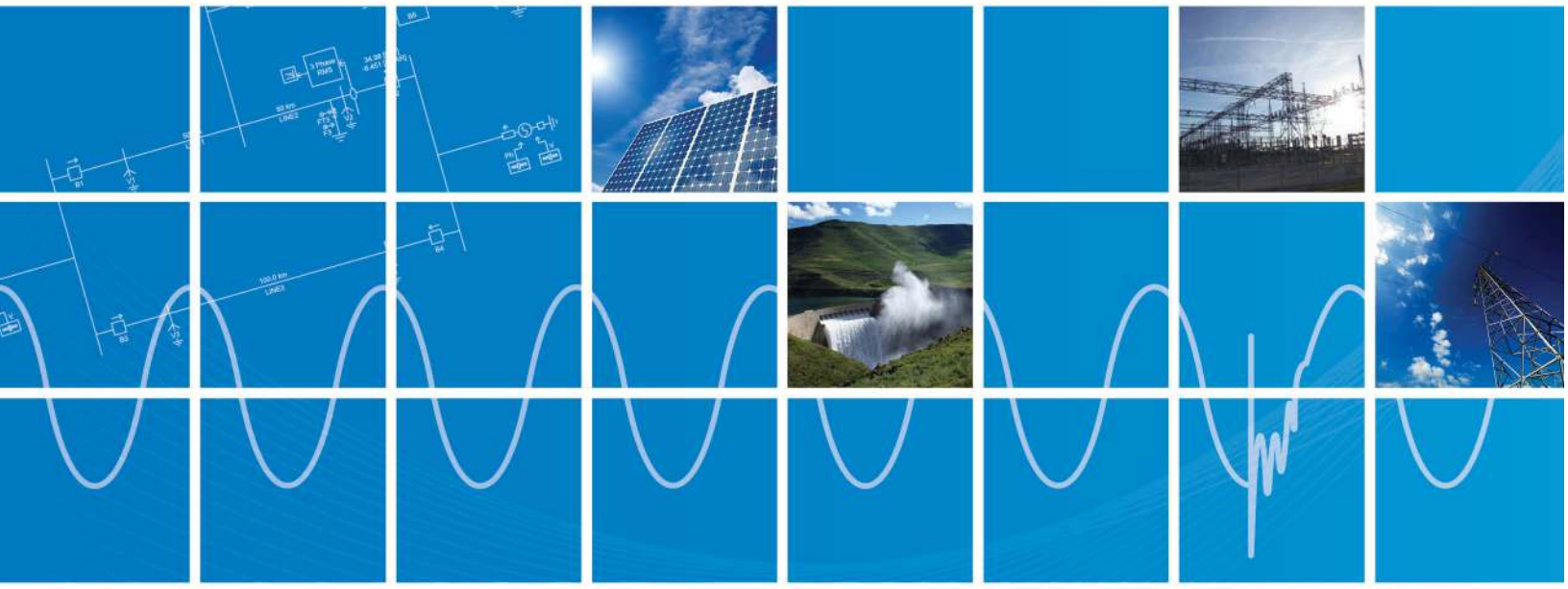
Manitoba
HYDRO INTERNATIONAL

ENGINEERING CONSULTING SERVICES

Technical Note – Technical Challenges & Risks of HVDC Transmission for Ventilus and Loop of Hainaut Corridors

Elia System Operator SA/NV
Attention:
Maarten Konings
Maarten.konings@elia.be
+32 475 60 21 12

Date: March 04, 2020



Powered by Manitoba Hydro International Ltd.
211 Commerce Drive
Winnipeg, Manitoba
R3P 1A3 Canada
mhi.ca

DOCUMENT TRACKING

Rev.	Description	Date
0	First issue	September 23, 2019
1	Second issue	October 06, 2019
2	Third issue	November 02, 2019
3	Fourth issue	December 06, 2019
4	Final issue	March 04, 2020

THIRD PARTY DISCLAIMER

Power Systems Technology Centre, a division of Manitoba Hydro International Ltd. ("**MHI**") has prepared this document for the sole use of Elia System Operator SA/NV ("**Client**"), and for the intended purposes stated in the agreement between MHI and the Client pursuant to which this document was completed.

The content of this document is not intended for the use of, nor is it intended to be relied upon by any person, firm, corporation or other governmental or legal entity (each a "**Third Party**"), other than the Client. MHI makes no warranty, express or implied, to any Third Party in relation to the contents of this document, including any conclusions or recommendations.

The use of or reliance on this document by any Third Party shall be at its own risk, and MHI accepts no responsibility or liability for the consequences of this document being used or relied upon by such Third Party. Any Third Party will, by such use or reliance, be taken to have confirmed its agreement to:

(a) Indemnify MHI, its affiliates, and any person or entity acting on their behalf ("**Indemnitees**"), for all losses, costs, damages or expenses suffered or incurred by the Indemnitees as a result of such Third Party's use or reliance on this document; and

(b) Release the Indemnitees from any and all liability for direct, indirect, special or consequential damages (including but not limited to loss of revenue or profit, lost or damaged data, loss of goodwill or other commercial or economic loss) suffered or incurred by the Third Party, or for those at law for whom it is responsible, as a result of its or their use or reliance on this document whether based in contract, warranty or tort, (including but not limited to negligence), equity, strict liability or otherwise.

Contents

1 Introduction 4
2 Technical challenges related to the HVDC option and potential mitigation measures 6
3 Technical studies required to be performed to develop a specification 10
4 Discussion of remaining risks associated with the HVDC option 11
5 Comparison of challenges with the existing projects 13
6 Conclusion 16
7 References 18
8 Appendix: Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR) calculations 19
9 Appendix: Embedded HVDC in the AC network – Specific questions from ELIA. 20

1 *Introduction*

The Federal Development Plan of the Belgian transmission network (110 kV – 380 kV) for 2020 – 2030 is structured around three 380 kV network developments: the reinforcement and extension of the internal 380 kV backbone, the development of the offshore network, and the reinforcement and extension of the capacity of interconnections. As a part of the reinforcement and extension of the internal network, ELIA, the Belgian transmission system operator, has performed extensive investigations and proposed development of the Ventilus corridor and the loop of Hainaut as shown in Figure 1 using 380 kV overhead HVAC transmission technology.

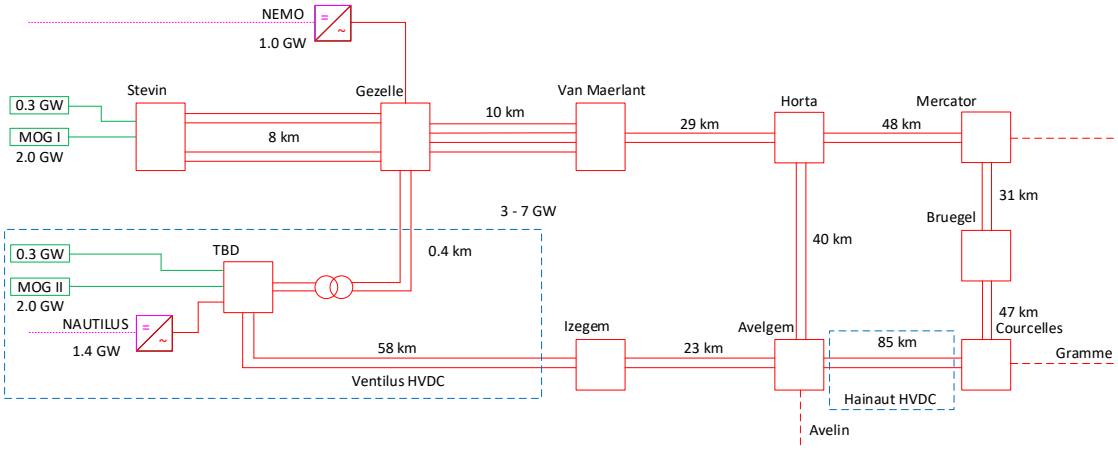


Figure 1: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVAC Option

However, the public has challenged the conventional overhead HVAC technology based solution and has proposed a HVDC underground cable based solution as shown in Figure 2.

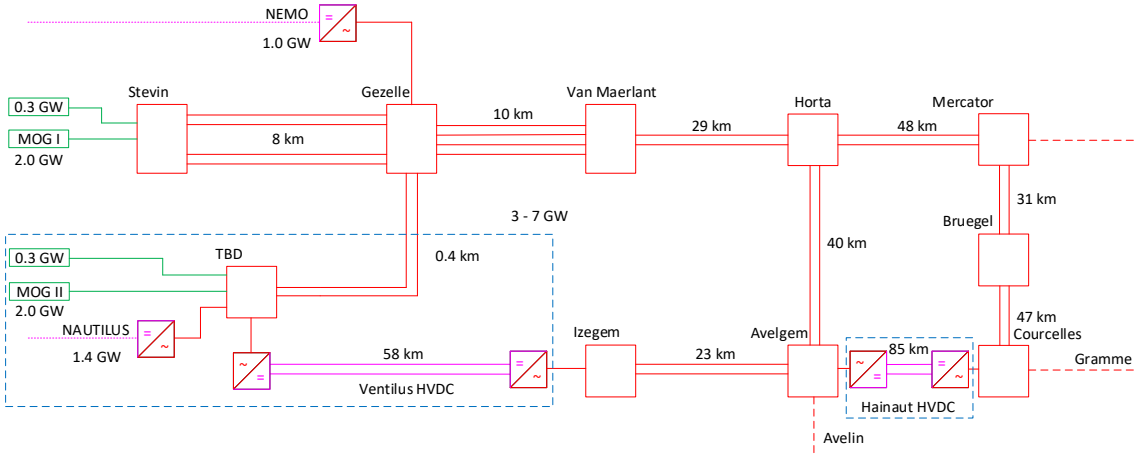


Figure 2: Proposed Ventilus and Hainaut project developments: HVDC Option

In view of this, ELIA has decided to evaluate the technical challenges and risks of considering HVDC transmission and has consulted with Manitoba Hydro International Ltd. (MHI) for technical assistance.

The Ventilus and loop of Hainaut projects have vast technical and economic benefits for the electrical system of Belgium. Both projects will contribute, amongst others, to increase the available transmission capacity and the network security of supply in the northwest region of Belgium.

The available electrical power in the northwest region of Belgium is planned to be increased due to the development of new offshore wind farms (about 2 GW) and the new Nautilus interconnection (1.4 GW). In addition, there is potential onshore wind generation that will be connected to the system. The Ventilus and Hainaut projects will participate heavily to evacuate this power from the western region (a region without large loads) to the rest of the country. The Ventilus project provides an alternative path for the power injected at Stevin (only 380 kV connection to the sea of Belgium), and the Hainaut project eliminates the existing power transfer bottleneck in the Horta-Mercator corridor. Hence, these projects improve the reliability of power transfer in the region and reduces the re-dispatch costs. If the Ventilus and Hainaut projects are implemented using the HVAC option, the projects will assist with improving the system inertia and short circuit strength.

It should be investigated whether the HVDC technology based solution is capable of delivering the expected technical and economic benefit of the Ventilus and Hainaut projects while respecting the following operating requirements specified in the system operation guidelines:

- Ability to recover from normal N-1 contingencies and specific (identified) N-x contingencies.
- Maintain stability for up to the loss of 3000 MW of generation.

In addition, there are technical challenges specific to HVDC technology based projects (such as short circuit strength constraints and dynamic interaction issues with power electronic interfaced devices) which need to be analyzed in detail. Mitigation measures for these challenges are to be identified and the technical requirement for the HVDC solution should be developed once the suitable technical studies are performed. Persisting risks with the HVDC solution should be analyzed and compared with the present state of technology. The following tasks are identified for the evaluation of the HVDC technology-based solution and will be discussed in this report:

- Technical challenges related to the HVDC option and potential mitigation measures
- Technical studies required to be performed to develop a specification
- Discussion of remaining risks associated with the HVDC option
- Comparison of challenges with the existing projects

2 *Technical challenges related to the HVDC option and potential mitigation measures*

This section presents a high-level discussion on identified technical challenges related to the HVDC option and options available to mitigate identified challenges.

1. Challenging network topology

Gezelle-Maerl-Horta and Gezelle-TBD-Izegem-Avelgem 380 kV[1] transmission backbone will transfer a majority of the power generated at offshore windfarms or import power to supply local loads in cases where the wind generation is low (up to 7GW). As such, continuity of power transfer will heavily depend on the availability and reliability of this 380 kV backbone. In particular, 29 km long Maerl-Horta line section and 23 km long Izegem-Avelgem line sections demand special[2] attention. In these overhead lines, 380 kV dual circuits share the same tower structure. Thus, a tower failure or similar catastrophe (i.e. lightning on the tower structure) may result in the loss of the entire line section.

The transmission system's ability to recover during a catastrophic failure of Maerl-Horta line section and Izegem-Avelgem line section will be a key aspect of selecting transmission technology. This network topology will be a challenge for both HVAC and HVDC options. However, there are specific challenges for HVDC technology as discussed below.

Outage (or tripping) of any one of the HVAC transmission lines between Horta and Stevin stations (in particular, the line section between Maerl and Horta) will expose the offshore windfarms and HVDC links to being connected to a transmission network with an almost radial HVDC line. The offshore windfarms and the HVDC links will now be connected to the rest of the Belgian system through the new HVDC link. This will form a unique situation not encountered in transmission systems worldwide. The closest to this condition are the offshore windfarms that are connected to the grid through voltage source inverter (VSC) based HVDC technology. The Elia situation is different in the following ways:

- During the normal operation, the Ventilus HVDC system and 380 kV HVAC connection (Gezelle-Maerl-Horta) will be connected to multiple offshore wind farms as well as NAUTILUS and NEMO HVDC links to the rest of ELIA network. The strength of the HVAC connection may reduce if there is N-1 outage in Gezelle-Maerl-Horta line sections.

- During operation without HVAC (Gezelle-Maerl-Horta) connection, multiple offshore windfarms as well as HVDC links will become an asynchronous island that is connected to the rest of the ELIA network only through Ventilus HVDC system.

This unique situation will require a novel design. Based on MHI's past experience on designing large scale HVDC links for offshore wind transmission, the equipment vendor will have to overcome significant technical design challenges to make the system feasible and meet grid operational requirements. Some of the technical challenges foreseen are listed below.

[1] Izegem-Avelgem transmission line section may be developed as a 380 kV overhead line in HVAC option and as an underground cable in HVDC option.
[2] Other line sections have N-2 compliance for tower failures.

- In this case, grid forming control is likely to be necessary in the new HVDC converter station that will be connected to the potential 'island' of power electronic-based sources described above (Likely 2x3 GW TBD terminal of Ventilus HVDC system). Grid forming technology may be a solution in this case, but this control strategy is a relatively new and mostly untested concept at transmission system levels and this can be considered a risk.

    - To date, the known application of grid forming schemes in HVDC is primarily limited to offshore HVDC converters that transfer offshore wind power to the shore, or for black start operation. In those cases, switching the control mode between grid forming and grid following is not required.
    - The risk associated with the solution described above cannot be easily quantified, due to the lack of operational experience with such systems. Design studies will be required to identify the risks in detail.

    Some potential issues associated with this option are also listed in section 4.

- Control schemes that can switch between grid following and grid forming operations or grid forming control scheme which can share grid forming function with HVAC connection. Such concepts once again are new and untested at transmission level.

- The grid forming converter controls must include current limiting functions in order to maintain the valve currents below the semiconductor current capability. This applies to the fault currents and the currents upon recovery from a fault.

    - During fault events, current limiting is achieved by reducing the converter voltage on the affected phase(s). Upon fault clearance, this current limiting function may impact the recovery of other converter systems synchronized with this converter station. If such events cause uncontrolled flow of active power to the DC side in this (or any other) HVDC link, DC over-voltage trip may take the link out of service. (Even a DC chopper may need to be considered in this link.)
    - The grid forming converter will regulate the voltage and frequency in the 'islanded' area. The remote converter (likely 2x3 GW IZGEM terminal of Ventilus HVDC system) will have to maintain the DC voltage.
    - In case of an AC fault at the DC voltage controller terminal, the power injected to the DC link from the island will lead to a rise in the DC link. Therefore, a DC chopper may be required to dynamically absorb the excess power.

2. Extensive dynamic performance studies

Extensive dynamic performance studies must be performed by the selected vendor to ensure all such scenarios are identified and the necessary actions are envisioned in the controls. This requires that the as-built models from all neighboring power-electronic converters be included in the simulations. Since multiple vendors are involved in this interaction study, sharing the models with the vendor will be a major challenge due to intellectual property protection issues, and will have to be addressed well ahead of starting the studies, otherwise the project design and implementation scheduling will be adversely affected. Model availability is a concern for any new development including the full AC corridor option.

However, the risks are higher when untested schemes, such as the HVDC option discussed here, are in question.

Low short circuit levels negatively impact dynamic performance during fault/disturbance recovery as well as suppressing control (and torsional when applicable) interactions between dynamic devices. Studies have indicated that the converter point of connections may have short circuit ratios that fall below 2.0 (even 1.5 in some cases as per the description in the RFP) in the Stevin loop area. This is a concern, as the low SCR is an indication of potential dynamic response issues with power electronic interfaced devices. The HVDC option will further deteriorate the short circuit ratio condition. This will most likely impact the existing offshore wind farms whose design control settings may not be suitable for operation under low short circuit conditions. Further discussion is provided in section 4.

The expected short circuit ratios for HVAC and HVDC options are shown in Table 1 and Table 2, respectively. It is evident that the Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR)[1] [1], [2] will drop significantly with the HVDC option.

Note: While there is no universally accepted standard it is our experience, based on extensive past projects dealing with integration of power electronic interfaced equipment such as renewable generation, that when the short circuit ratios drop below 2, integration of such devices becomes challenging. It should also be noted that power electronic based equipment (existing) implemented with higher MIESCR as the design criteria may show unstable behavior even at MIESCR levels above 2.

Table 1: Expected short circuit levels – HVAC option

HVAC Case	Considering Converter Contributions				Without Converter Contributions			
	N-0		N-1		N-0		N-1	
	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR
Gezelle (NEMO)	17.66	3.0	17.65	3.0	15.64	2.6	15.51	2.6
TBD (Nautilus)	15.99	4.3	14.61	3.9	14.00	3.7	12.64	3.4

Table 2: Expected short circuit levels – HVDC option

HVAC Case	Considering Converter Contributions				Without Converter Contributions			
	N-0		N-1		N-0		N-1	
	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR
Gezelle (NEMO)	22.80	1.4	22.78	1.4	12.77	0.7	12.60	0.7
TBD (Nautilus)	22.75	1.4	22.68	1.5	12.72	0.7	12.67	0.7
Izegem	23.06	2.3	18.72	2.1	13.46	1.3	10.67	1.1
Avelgem	32.74	2.6	27.59	2.2	19.10	1.4	13.98	1.1
Courcelles	22.40	3.1	20.40	2.9	15.74	2.1	13.95	1.9

Note: MIESCR is calculated by using short circuit levels at converter terminals, converter ratings and Multi Infeed Interaction Factor (MIIF) between converters. MIIF is typically calculated using RMS dynamic

[1] Since there are more than one converter terminals in the study area, Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR), which considers the interaction between HVDC terminals at close proximity, was used to calculate short circuit levels at the converter terminals. Note that MIESCR is a measure derived for LCC based converters, however, it is being used in the industry as screening level indicator for VSC based converters as well.

simulations. Since detailed RMS dynamic models are unavailable, MIIF was approximated using steady state power flow calculations.

System strengthening with addition of synchronous condensers may be required to meet operational requirements of the overall system with high renewable infeed. However, when the connection to the AC grid is lost and the HVDC converter and the remaining inverters form an island, the effectiveness of synchronous condensers is not clear and detailed studies will be required for this assessment. This is discussed in section 4.

3. Interaction of AC/DC systems

HVDC controllers could cause interaction and coordination issues among other power electronics controllers (different suppliers and/or different industrial applications). This phenomenon is more of a challenge when the common point of connection or the general area of the system with multiple power electronic inverters is weak from a short circuit level perspective. Thus, the HVDC option is likely to introduce challenging interaction issues[1].

4. Co-ordination of multiple HVDC systems

Multiple HVDC links in series and/or parallel could trigger the need of a complex "Master Controller" to co-ordinate HVDC systems. Fast supervisory level controls may be required to maintain operational requirements if the HVDC scheme is adopted. Detailed design studies will be required to determine the protection and controls functions that will ensure successful and coordinated operation. Cooperation and coordination among different vendors is required to establish the overall protection and control schemes. The need for a master controller can only be determined after detailed studies.

5. Requirement of complex Remedial Action Schemes (RAS)

Remedial Action Schemes will play a vital role when recovering from system critical disturbances regardless of whether the HVAC or HVDC options is selected. HVDC option, which has parallel and serial connected HVDC schemes with various levels of transient/ temporary overload capabilities, may require complex RAS. As a result, RAS required for HVDC option may be more complicated than the RAS required for HVAC option.

[1] Please see section 4 for more details.

3 Technical studies required to be performed to develop a specification

System studies will be a critical requirement to design the system to operate reliably under the HVDC option. In particular, controlling techniques of individual HVDC systems and their coordination during steady state operation and disturbance recovery should be studied in detail and solutions should be established for various expected operating conditions. The following is a list of the minimum required studies.

- Steady state studies (contingency analysis, PV/QV analysis, and fault analysis)

Steady state studies are required to analyze various expected pre- and post-disturbance operating conditions and identify a set of conditions which may pose challenges in steady state operation as well as transient recovery. In addition, steady state studies will determine solutions for the steady state challenges and limitations.

- Transient stability studies

Transient stability studies using a RMS software tool are vital to evaluate the system's ability to maintain stability subjected to critical disturbances and identify critical operating conditions which may be further studied during the dynamic performance studies. Given the low short circuit levels expected in the study area, suitable "user-defined" HVDC models accurate for the electro-mechanical frequency range (0.1 Hz to 10 Hz) may be required to be developed.

- Dynamic performance studies (DPS)

Dynamic performance studies using an EMT (electromagnetic transient) software tool is essential to study the dynamic performance valid for a wide frequency range. Specially, control strategies required for the HVDC systems may be fine-tuned using DPS. Involvement of various vendors for windfarms and HVDC systems may pose a significant challenge when sharing detailed EMT models. This requirement should be well outlined and established at the tendering stage.

- Small signal stability analysis

A large number of power electronics devices connected to weak AC systems (a system with low short circuit levels) may have poorly damped oscillations. These oscillations may require to be analyzed using eigenvalue-based technique to identify small signal stability characteristics (mode shape and participation factor, etc.) so that suitable controllers (PSS, POD and torsional filters) can be designed. In addition to the eigenvalue-based techniques, analysis of time domain simulation outputs obtained from RMS or EMT simulations may be used to analyze the small signal instability and make suitable adjustments in control systems or develop damping controllers. In general, small signal instability may not be required to study at the specification stage and may only be identified in the specification as a study requirement for the vendor.

- Harmonic studies

High level harmonic studies may be performed at the specification development stage to identify any significant issues that may be specified in the specification so that the vendor is required to find mitigations.

4 Discussion of remaining risks associated with the HVDC option

In addition to the risks introduced previously and those identified by studies, it is expected that the remaining risks will be predominantly related to the possibility of multiple power electronic sources operating in an island, in the absence of conventional synchronous machines.

A summary of the potential remaining challenges are listed below:

- Selection of a suitable robust control mode, and implementing a seamless transfer between grid-connected and islanded operation
    - Although this mode is commonly used in offshore windfarms, it is not common in a transmission-level HVDC link. To the best of MHI's knowledge, it has not been applied in a transmission application with so many inverters and no synchronous machines. Therefore, there is no known installed scheme with similar conditions to compare this application with as a benchmark.
    - Modification of the controls in the existing power electronic converters is highly unfeasible. Therefore, the HVDC converter must be designed to handle this unique condition and to ensure that the operation of the existing systems in the island will not be interrupted.
    - Grid forming control schemes (such as power synchronizer loop, etc.) have been proposed for weak grid conditions. They may not be applicable in strong networks, or may require a different set of controller parameters. Therefore, a robust and control mode change (or control parameter change) may require more complex strategies such that the converter can assess the network configuration and automatically adapt to new conditions, thus ensuring stable and acceptable performance.

      Note: In a conventional system where connection to the AC grid is still available, synchronous condensers can be added at, or in the vicinity of, an HVDC station in order to increase the inertia and phase angle stability, when the AC system is weak.

      In this application where one converter is in charge of 'establishing' the AC voltage for the rest of the island, it is not clear if synchronous condensers will improve the stability of the system or whether their inertia may cause unacceptable interactions with the HVDC converter controls in case of a disturbance. This requires detailed EMT studies to verify whether synchronous condensers will enhance or deteriorate the system performance when operating in an island.

- Impact on the existing conventional AC protection system, when operating in an island (e.g. MOG I)
    - In case of islanded operation, the existing AC protection systems that rely on typical AC system fault levels may not be able to detect faults and trip the faulted section. The power-electronic converters are designed to limit their currents to their respective rated levels. The existing AC system relays that use current levels have been adjusted to detect 'high' fault levels and may be unable to perform successfully when an island of multiple inverters is formed. For this condition, it may be necessary to install additional protective relays or methods for such a configuration.

- Adoption of new technology and complex control schemes
    - An HVDC option like the scheme that is depicted in Figure 2 will be one of the first (if not the first) of this nature. While there are existing HVDC schemes that evacuate bulk power from offshore windfarms (ex. Dolwin in Germany), these HVDC schemes are mostly radial feeds from a single generating location (windfarm) to a single transmission location. MHI sees the proposed HVDC (Ventilus and loop of Hainaut) option as different and one that needs much more reliability as this schemes forms a meshed part of the transmission grid, connecting to multiple sources. Adopting new technology, new protection and controls concepts and, potentially, complicated coordination and remedial action schemes (as described in Section 2) will present risks despite the studies and due diligence that will form the basis for design.

5 Comparison of challenges with the existing projects

(A benchmark and delta analysis on comparable (if any) projects or existing assets)

	Technical challenge	Existing project with similar challenge
1	Challenging network topology	Offshore windfarms with VSC transmission: In Germany: the first three offshore windfarms that were connected with VSC technology (three different vendors supplied the design and equipment for the three projects) had technical issues that took months or years to resolve (full details not published) In Australia, operating wind and solar PV under low SCR conditions have given rise to a number of issues. • 2016 South Australia Back system. • Renewable generation curtailment to meet system security. Specifically, fault ride through concerns and low frequency oscillations that could lead to flicker issues were identified. There is an existing 500 kV HVDC link between The Dalls, Oregon and Los Angeles, California with a parallel 500 kV AC tie line. This is a challenging configuration to keep the parallel AC tie line from overloading if the HVDC has a problem and keeping the HVDC stable if the 500 kV AC tie line trips. Manitoba Hydro Nelson River HVDC originally had a deterministic "Master Controller" and it mal-operated nine (9) times in the first year of operation alone, resulting in a complete shut down of the HVDC link. This performance was deemed unacceptable and it was replaced with some RAS - distinct protection, frequency control, AC damping (Power Oscillation Damping – POD), under-frequency load shedding, cross tripping and runback schemes which has worked very well in over 35 years. Almost all new HVDC links use RAS instead of the Master Controller. There is still one Master Controller called the Generator Master Power Controller (GMPC) in Mozambique, Africa on the Cahora Bassa HVDC system and it has mal-operated a number of times in the last 10 years as not all operating configurations can be programmed until they are experienced.

2	Low short circuit levels	Manitoba Hydro example: The technical solution includes the operation of about 2 GVA of synchronous condensers to support the HVDC operation. There is an existing HVDC link between Delta, Utah and Adelanto, California called the Intermountain Power Project (IPP) built in 1981 +/- 400 kV 1600 MW. It is being refurbished an upgraded to 2400 MW. The Thermal Generating Plant is being shut down and replaced with wind. However, the electrical inertia will need to be replaced with synchronous condenser or converting the thermal generators to synchronous condensers. So far, it appears to be much lower cost to convert the thermal generators as they are still in relatively good condition.
3	Interaction of AC/DC systems	Manitoba Hydro has its Norther Collector system for the HVDC link isolated or basically in an island configuration all of the time. The 32 generating units have PSS (power system stabilizers) with the HVDC in frequency control. There is virtually no load to provide any system damping. There are self excitation issues between the AC filter and the generators at low loading, a 13 harmonic resonance issue and high transient over voltage concerns. These are mitigated via RAS schemes such as tripping the AC filters before completely blocking the HVDC link plus only operating in acceptable operating configuration's. Almost all large HVDC and HVAC systems will have some sort of RAS to successfully integrate them into an existing AC system
4	Co-ordination of multiple HVDC systems	The HVDC link between Quebec, Canada and Boston MA, USA was originally planned as a five terminal system. Only three terminals were built between Radisson, Nicolet (both Canada) and Sandy Pond (USA). During system studies it was found that is almost impossible to operate the 5 terminals because of commutation failures (Note: VSC technology does not have commutation failure issues. It is a specific problem for conventional line commutated (LCC) HVDC technology). There is reportedly a five terminal VSC link in-service in China but so far no information on its operating performance is available.
5	Requirement of complex Remedial Action Schemes (RAS)	Manitoba Hydro Nelson River HVDC originally had a deterministic "Master Controller" and it mal-operate nine (9) times in the first year of operation

		alone resulting the complete shut down of the HVDC link. This performance was deemed unacceptable and it was replaced with some RAS - distinct protection schemes, frequency control, AC damping, under-frequency load shedding, cross tripping and runback schemes which has worked very well in over 35 years. Almost all new HVDC links use RAS instead of the Master Controller. In Africa there is a +/- 533 kV, 2 000 MW HVDC link between Mozambique and South Africa and a parallel 400 kV AC line. The Hydro generation plant has one 415 MW generator allocated to the 400 kV AC bus and four 415 MW allocated to the HVDC and connected through a Bus coupler breaker. The HVDC link is operated with RAS AC Damping control when interconnected (bus coupler closed) and Frequency control with the Bus coupler open.

6 Conclusion

MHI considered the HVDC transmission based developments of the Ventilus and Hainaut transmission upgrades. In MHI's opinion, HVDC technology presents technical challenges due to the unique nature of the scheme. An HVDC option like the one being discussed will be one of the first (if not the first) of this nature. Some of the key challenges and the anticipated risks are tabulated below.
Considering the lack in maturity of this solution and high risk profile, this option is not the preferred and recommended option of MHI. MHI advises not to use DC technology for this specific case.

	Technical challenge	**Risk level**	**Remarks (Risk management)**	**Risks compared to AC option**
1	Challenging network topology	High	• New transmission upgrades to eliminate islanding risk (this is outside the scope) • Advanced HVDC controller design (improve islanded performance – ex. grid forming controls with transition to grid following in a seamless manner • Remedial action schemes	• With HVAC, the topology related challenges are less. Grid forming type HVDC controls will not be required.
2	Low short circuit levels	High	• Use of synchronous condensers/STATCOMs prolong the use of existing synchronous generators • Re-tune windfarm design control settings	• With HVAC, the short circuit levels at point of connection of converters will be higher.
3	Interaction of AC/DC systems	Medium	• Use of synchronous condensers to improve short circuit levels • HVDC controller design improvements • PSS, POD and etc.	• Lower risks as the short circuit levels are higher and one less large HVDC in the network.
4	Co-ordination of multiple HVDC systems	Medium	• Implement a complex "Master Controller" to co-ordinate HVDC systems. • Remedial action schemes	• N/A
5	Requirement of complex Remedial Action Schemes (RAS)	Medium to High	• Improved coordination between HVDC and the synchronous condensers/windfarms	• Requirements for such schemes will be less and hence risks are lower.
6	VSC Technology related Challenges	Low to Medium	• Staging of development so that mature technologies are available for later stages. • Involve various vendors in the design process.	• N/A

7 References

[1] Cigre Working Group B4.41, Systems with Multiple DC Infeed, December 2008.
[2] ALSTOM, '*HVDC Connecting to the future'*, ALSTOM GRID, 2010.

8 Appendix: Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR) Calculations

- ESCR (Effective Short Circuit Ratio) is a measure of the system strength of converter buses of a single HVDC scheme. Typically, an ESCR value greater than 2.5 indicates sufficient strength for the Power/ Voltage stability in the AC system associated with the HVDC scheme.

- Similarly, when multiple HVDC schemes share a common AC system, MIESCR values [1], [2] are used as a measure of the system strength of converter buses. This calculation can be used to identify high risk conditions for sub-synchronous control interactions as they more likely to occur when two or more dynamic devices are connected near a location of low system strength.

- Multi Infeed Interaction Factor (MIIF) relates the interaction between AC voltages of any converter buses and is defined as follows;

$$MIIF_{e,n} = \frac{\Delta V_e}{\Delta V_n}$$

ΔV_e: *The observed votlage change at remote bus*
ΔV_n: *The step change applied at the inverter bus*

- MIESCR is defined as follows:

$$MIESCR_i = \frac{(SCC_i - Qf_i)}{Pdc_i + \sum_j (MIIF_{j,i} \times Pdc_j)}$$

SCC_i	=	Short circuit MVA at the converter bus
Qf_i	=	Bus filter and capacitor MVA
Pdc_i	=	Rated dc power of the HVDC link connected to bus i
Pdc_j	=	Rated dc power of the link at bus j
$MIIF_{j,i}$	=	MIIF calculated at bus j, for 1% voltage change at bus i

9 *Appendix: Embedded HVDC in the AC network – Specific questions from ELIA.*

- Could this configuration trigger system stability issues (voltage, frequency) and adverse AC system interactions?
    - Stability issues, more specifically, dynamic response issues may have to be addressed due to weakening of the AC system locations where wind generation is expected to be connected.
    - Challenges include fault recovery, unstable interactions between multiple inverter based devices
    - Difficulty of Voltage control during recovery from system events

- May require complex AC protection coordination schemes
    - Run back schemes may have to be identified to maintain system stability

- Cannot automatically take over load of parallel AC lines
    - Fast run back schemes may be a solution. These solutions are identified though detailed system studies.
    - Furthermore, the existence of parallel AC path(s) with the HVDC link may require a special control strategy in the HVDC scheme in order to prevent power circulation between HVDC and the parallel AC corridor(s). Such techniques are applied in a few in-service HVDC systems

- Multiple HVDC links in series and/or parallel could trigger the need of a “Master Controller”
    - Fast supervisory level controls may be required to maintain operational requirements if the HVDC scheme is adopted. Detailed design studies will be required to determine the protection and controls functions that will ensure successful and coordinated operation. Cooperation and coordination among different vendors is required to establish the overall protection and control schemes.

- HVDC controllers could cause interaction and coordination issues among other Power Electronics Controllers (different suppliers and/or different industrial applications)
    - This phenomenon is more of a challenge when the common point of connection or the general area of the system with multiple power electronic inverters is weak from a short circuit level perspective. Thus, the HVDC option is likely to introduce challenging interaction issues.

- VSC in weak ac systems
    - Small signal instability concerns
        - This is not likely a critical challenge if a coordinated design approach can be adopted with all equipment vendors cooperating to provide model data and cooperating to make necessary adjustments to control settings and designs of their equipment.
    - Unexpected trips of the HVDC links when operating under Low SCR conditions
        - Risk can be minimized through proper design and detailed verification studies
    - Unacceptable response of the AC system due to low SCR conditions
        - Risk can be minimized through proper design and detailed verification studies

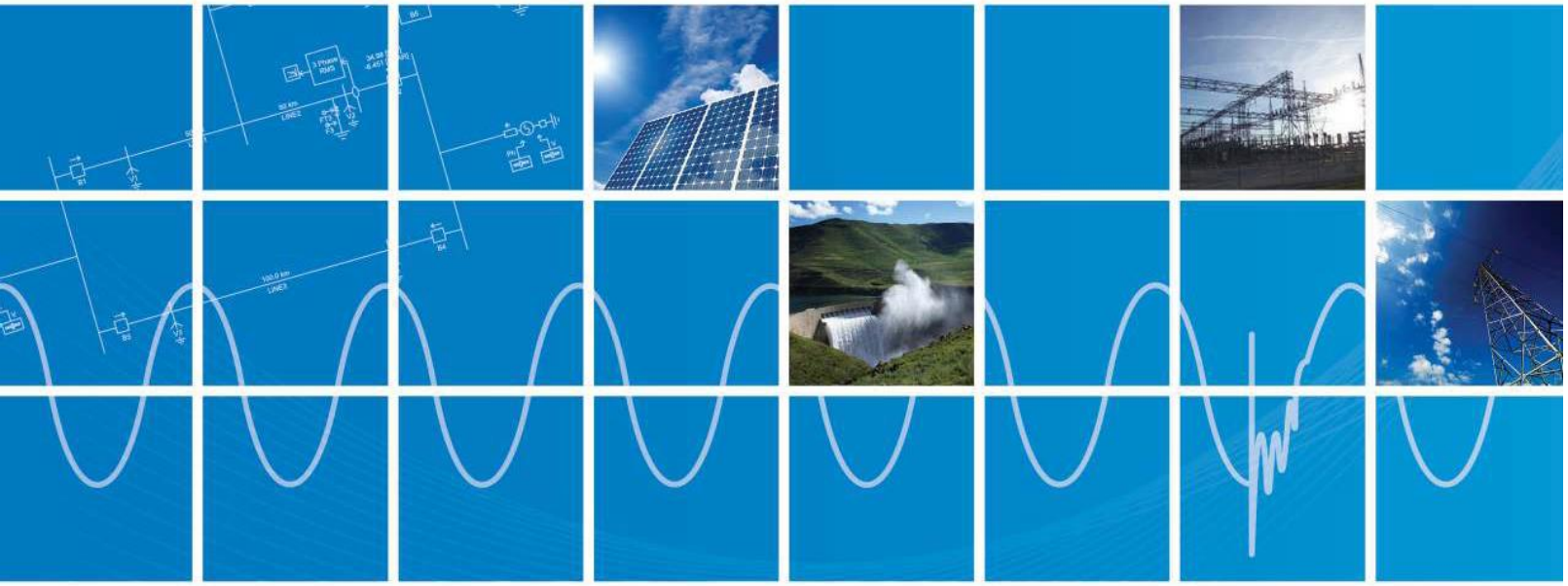
Manitoba
HYDRO INTERNATIONAL

TECHNISCHE ADVIESDIENSTEN

Technische Nota - Technische uitdagingen en risico's van HVDC-transmissie voor de corridors Ventilus en Boucle du Hainaut

Elia System Operator NV/SA
Ter attentie van:
Maarten Konings
Maarten.konings@elia.be
+32 475 60 21 12

Datum: 4 maart 2020



Powered by Manitoba Hydro International Ltd.
211 Commerce Drive
Winnipeg, Manitoba
R3P 1A3 Canada
mhi.ca

DOCUMENTTRACERING

Herz.	Omschrijving	Datum
0	Eerste uitgave	23 september 2019
1	Tweede uitgave	6 oktober 2019
2	Derde uitgave	2 november 2019
3	Vierde uitgave	6 december 2019
4	Laatste uitgave	4 maart 2020

AFSTAND VAN DERDEN

Power Systems Technology Centre, een afdeling van Manitoba Hydro International Ltd. ('**MHI**'), heeft dit document opgesteld met de bedoeling dat alleen Elia System Operator NV/SA ('**Klant'**) er gebruik van maakt, en voor de beoogde doeleinden die worden vermeld in de overeenkomst tussen MHI en de Klant in overeenstemming waarmee dit document werd voltooid.

Het is niet de bedoeling dat de inhoud van dit document wordt gebruikt, noch dat op die inhoud wordt vertrouwd, door enige persoon, firma, onderneming of andere overheidsinstantie of rechtspersoon (telkens een '**Derde'**) die niet de Klant is. MHI geeft geen enkele garantie, uitdrukkelijk of impliciet, aan Derden met betrekking tot de inhoud van dit document, met inbegrip van eventuele conclusies of aanbevelingen.

Als een Derde dit document gebruikt of erop vertrouwt, gebeurt dat op eigen risico en MHI aanvaardt geen verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor de gevolgen van het gebruik van of het vertrouwen op dit document door die Derde. Elke Derde zal, door dat gebruik of vertrouwen, worden geacht zijn instemming te hebben bevestigd met:

(a) De schadeloosstelling van MHI, zijn filialen en elke persoon of entiteit die namens hen handelt ('**Gevrijwaarden'**), voor alle verliezen, kosten, schade of uitgaven die de Gevrijwaarden lijden of oplopen als gevolg van het gebruik van of het vertrouwen op dit document door die Derde; en

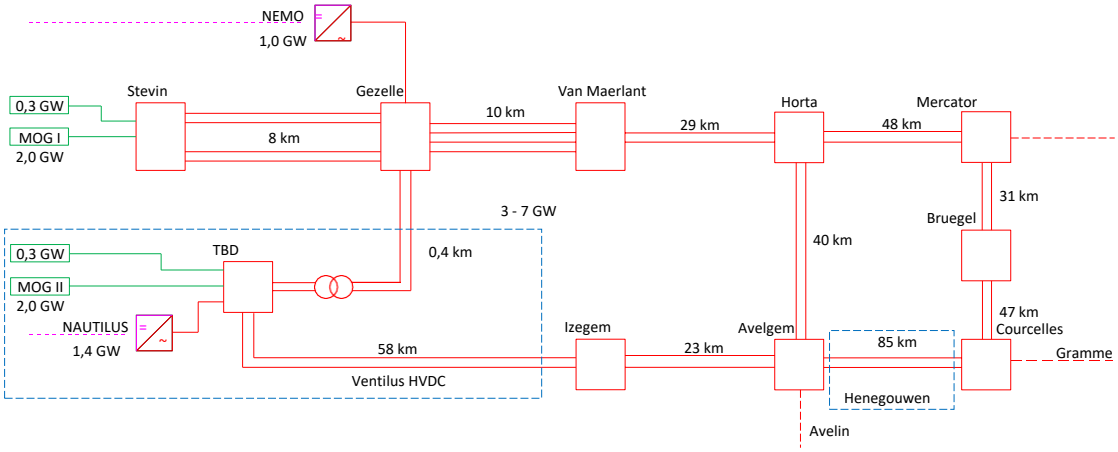
(b) De ontheffing van de Gevrijwaarden van alle aansprakelijkheid voor directe, indirecte, bijzondere of gevolgschade (met inbegrip van maar niet beperkt tot verlies van inkomsten of winst, verloren of beschadigde gegevens, verlies van goodwill of ander commercieel of economisch verlies) die de Derde lijdt of oploopt, of voor degenen voor wie hij volgens de wet verantwoordelijk is, als gevolg van zijn of hun gebruik van of vertrouwen op dit document, hetzij op basis van een contract, garantie of onrechtmatige daad (met inbegrip van maar niet beperkt tot nalatigheid), billijkheid, strikte aansprakelijkheid of anderszins.

Inhoud

1 Inleiding 4
2 Technische uitdagingen in verband met de HVDC-optie en potentiële beperkende maatregelen 6
3 Technische studies die moeten worden uitgevoerd om een bestek op te maken 11
4 Bespreking van de resterende risico's van de HVDC-optie 13
5 Vergelijking van de uitdagingen met de bestaande projecten 15
6 Conclusie 20
7 Referenties 23
8 Bijlage: MIESCR-berekeningen (MIESCR = Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio) 24
9 Bijlage: geïntegreerde HVDC in het wisselstroomnet - specifieke vragen van ELIA. 25

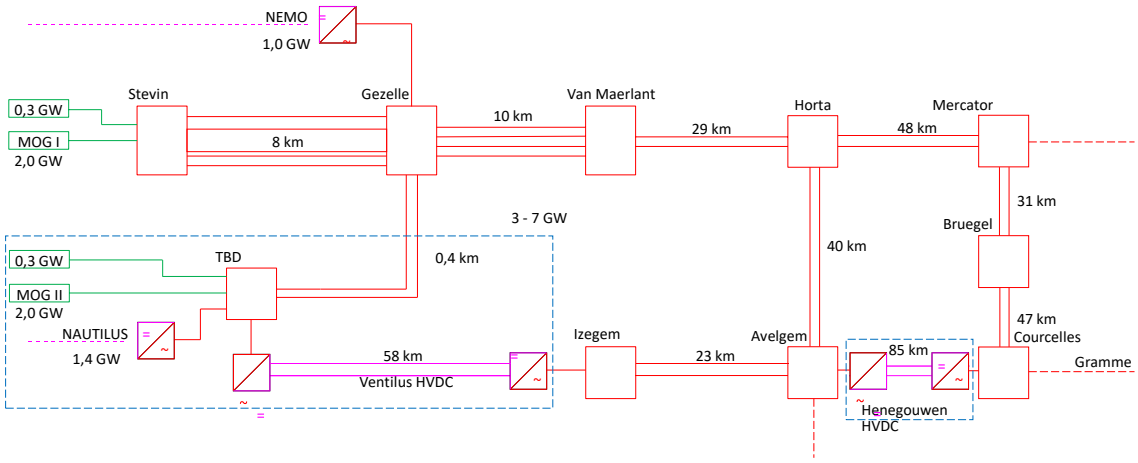
1 *Inleiding*

Het Federaal Ontwikkelingsplan van het Belgische transmissienet (110 kV - 380 kV) voor 2020 - 2030 is opgebouwd rond drie ontwikkelingen van het net van 380 kV: de versterking en uitbreiding van de interne backbone van 380 kV, de ontwikkeling van het offshorenet en de versterking en uitbreiding van de capaciteit van interconnecties. Als onderdeel van de versterking en uitbreiding van het binnenlandse net heeft ELIA, de Belgische transmissienetbeheerder, uitgebreid onderzoek gedaan en de ontwikkeling voorgesteld van de Ventilus-corridor en de Boucle du Hainaut zoals te zien is in figuur 1, met behulp van de bovengrondse HVAC-transmissietechnologie van 380 kV.



Figuur 1: voorgestelde ontwikkelingen van het Ventilus- en Henegouwen-project: HVAC-optie

De gemeenschap heeft de op de conventionele bovengrondse HVAC-technologie gebaseerde oplossing echter aangevochten en een op ondergrondse HVDC-kabels gebaseerde oplossing voorgesteld, zoals te zien is in figuur 2.



Figuur 2: voorgestelde ontwikkelingen van het Ventilus- en Henegouwen-project: HVDC-optie

Met het oog hierop heeft ELIA besloten om de technische uitdagingen en risico's van de overweging van HVDC-transmissie te evalueren, en heeft het Manitoba Hydro International Ltd. (MHI) om technische bijstand gevraagd.

De projecten Ventilus en Boucle du Hainaut hebben enorme technische en economische voordelen voor het Belgische elektriciteitsnet. Beide projecten zullen onder meer bijdragen tot de verhoging van de beschikbare transmissiecapaciteit en de bevoorradingszekerheid van het net in het noordwesten van België.

Het beschikbare elektrische vermogen in het noordwesten van België zal volgens de plannen toenemen door de ontwikkeling van nieuwe offshore windmolenparken (ongeveer 2 GW) en de nieuwe Nautilus-interconnectie (1,4 GW). Bovendien is er potentiële windenergieopwekking aan land die op het systeem zal worden aangesloten. De projecten Ventilus en Henegouwen zullen een grote rol spelen om deze stroom uit het westen (een regio zonder grote belastingen) naar de rest van het land af te voeren. Het Ventilus-project biedt een alternatief pad voor de stroom die in Stevin wordt geïnjecteerd (enige verbinding van 380 kV met de Belgische zee), en het Henegouwen-project heft het bestaande knelpunt in de stroomoverdracht in de corridor Horta-Mercator op. Deze projecten verbeteren dus de betrouwbaarheid van de stroomoverdracht in de regio en verlagen de kosten van de redispatching. Als de projecten Ventilus en Henegouwen met de HVAC-optie worden uitgevoerd, zullen de projecten helpen bij de verbetering van de systeeminertie en de kortsluitvastheid.

Er moet worden onderzocht of de op HVDC-technologie gebaseerde oplossing het verwachte technische en economische voordeel van de projecten Ventilus en Henegouwen kan opleveren, met inachtneming van de volgende werkingseisen die in de richtlijnen voor de werking van het systeem worden gespecificeerd:

- Vermogen om te herstellen van normale N-1-noodsituaties en specifieke (geïdentificeerde) N-x-noodsituaties.
- De stabiliteit handhaven bij een verlies tot 3000 MW aan opgewekte energie.

Bovendien zijn er technische uitdagingen die specifiek zijn voor projecten op basis van HVDC-technologie (zoals kortsluitvastheidsbelemmeringen en problemen aangaande de dynamische interactie met vermogenselektronisch gekoppelde apparaten), die in detail moeten worden geanalyseerd. Er moeten beperkende maatregelen voor deze uitdagingen worden vastgesteld en de technische eisen voor de HVDC-oplossing moeten worden ontwikkeld zodra de geschikte technische studies zijn uitgevoerd. Aanhoudende risico's met de HVDC-oplossing moeten worden geanalyseerd en vergeleken met de huidige stand van de technologie. De volgende taken zijn geïdentificeerd voor de evaluatie van de oplossing op basis van HVDC-technologie en worden in dit rapport besproken:

- Technische uitdagingen in verband met de HVDC-optie en potentiële beperkende maatregelen
- Technische studies die moeten worden uitgevoerd om een bestek op te maken
- Bespreking van de resterende risico's van de HVDC-optie
- Vergelijking van de uitdagingen met de bestaande projecten

2 *Technische uitdagingen in verband met de HVDC-optie en potentiële beperkende maatregelen*

Dit deel bevat een bespreking op hoog niveau van de vastgestelde technische uitdagingen die met de HVDC-optie zijn verbonden, en van de opties die beschikbaar zijn om de vastgestelde uitdagingen te beperken.

1. Uitdagende nettopologie

De transmissiebackbone Gezelle-Maerl-Horta en Gezelle-TBD-Izegem-Avelgem van 380 kV[1] zal het grootste deel van de door offshore windmolenparken opgewekte energie overdragen of stroom importeren om plaatselijke belastingen van stroom te voorzien in gevallen waar de windenergieopwekking laag is (tot 7 GW). Als zodanig zal de continuïteit van de stroomoverdracht sterk afhangen van de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van deze backbone van 380 kV. Vooral de 29 km lange leidingsectie Maerl-Horta en de 23 km lange leidingsectie Izegem-Avelgem vragen bijzondere[2] aandacht. In deze bovengrondse leidingen delen de dubbele circuits van 380 kV dezelfde maststructuur. Een defect aan de mast of een soortgelijke calamiteit (bv. blikseminslag op de maststructuur) kan dus het verlies van de volledige leidingsectie tot gevolg hebben.

Het vermogen van het transmissienet om zich te herstellen bij een uitval van de leidingsecties Maerl-Horta en Izegem-Avelgem als gevolg van een calamiteit, zal een sleutelaspect zijn bij de keuze van de transmissietechnologie. Deze nettopologie zal een uitdaging zijn voor zowel de HVAC- als de HVDC-optie. Er zijn echter specifieke uitdagingen voor de HVDC-technologie, die hieronder worden besproken.

De niet-beschikbaarheid (of foutieve uitschakeling) van een van de HVAC-transmissieleidingen tussen de stations Horta en Stevin (in het bijzonder de leidingsectie tussen Maerl en Horta) zal de offshore windmolenparken en de HVDC-verbindingen blootstellen aan een aansluiting op een transmissienet met een bijna radiale HVDC-leiding. De offshore windmolenparken en de HVDC-verbindingen zullen nu via de nieuwe HVDC-verbinding worden aangesloten op de rest van het Belgische net. Hierdoor zal een unieke situatie ontstaan die nergens anders ter wereld in transmissienetten wordt aangetroffen. Het dichtst bij deze toestand komen de offshore windmolenparken die met het net zijn verbonden via HVDC-technologie op basis van een spanningsbronomvormer (VSC). De situatie van Elia verschilt op de volgende manieren:

- Tijdens de normale werking worden het HVDC-systeem en de HVAC-verbinding van 380 kV van Ventilus (Gezelle-Maerl-Horta) aangesloten op verschillende offshore windmolenparken, en de HVDC-verbindingen van NAUTILUS en NEMO op de rest van het ELIA-net. De sterkte van de HVAC-verbinding kan afnemen in geval van N-1-niet-beschikbaarheid in de leidingsecties Gezelle-Maerl-Horta.

- Tijdens de werking zonder HVAC-verbinding (Gezelle-Maerl-Horta) worden verschillende offshore windmolenparken en HVDC-verbindingen een asynchroon eiland dat alleen via het HVDC-systeem van Ventilus op de rest van het ELIA-net is aangesloten.

Deze unieke situatie vraagt om een nieuw ontwerp. Op basis van de eerdere ervaring van MHI met het ontwerpen van grootschalige HVDC-verbindingen voor offshore windenergietransmissie zal de leverancier van de apparatuur aanzienlijke technische ontwerpuitdagingen moeten overwinnen om het systeem haalbaar te maken en aan de operationele eisen van het net te laten voldoen. Enkele van de

voorziene technische uitdagingen worden hieronder opgesomd.

[1] De transmissieleidingsectie Izegem-Avelgem kan worden ontwikkeld als een bovengrondse leiding van 380 kV voor de HVAC-optie en als een ondergrondse kabel voor de HVDC-optie.
[2] Andere leidingsecties zijn N-2-conform voor maststoringen.

- In dit geval is netvormende regeling waarschijnlijk nodig in het nieuwe HVDC-convertorstation dat zal worden aangesloten op het hierboven beschreven potentiële 'eiland' van op vermogenselektronica gebaseerde bronnen (waarschijnlijk 2 x TBD-terminal van 3 GW van het HVDC-systeem van Ventilus). Netvormende technologie kan in dit geval een oplossing zijn, maar deze regelstrategie is een betrekkelijk nieuw en grotendeels ongetest concept op het niveau van het transmissienet, en dit kan als een risico worden beschouwd.

    - Tot nu toe is de bekende toepassing van netvormende systemen in HVDC vooral beperkt tot offshore HVDC-convertoren die offshore windenergie naar land brengen, of tot black-startwerking. In die gevallen is het niet nodig om de regelmodus om te schakelen tussen netvormend en netvolgend.
    - Het risico van de hierboven beschreven oplossing kan niet gemakkelijk worden gekwantificeerd, omdat er nog geen operationele ervaring met dergelijke systemen is opgedaan. Er zijn ontwerpstudies nodig om in detail te bepalen wat de risico's zijn.

  Enkele potentiële problemen die met deze optie samenhangen, worden ook opgesomd in hoofdstuk 4.

- Regelsystemen die kunnen omschakelen tussen netvolgende en netvormende werking, of een systeem voor netvormende regeling dat de netvormende functie met de HVAC-verbinding kan delen. Ook die concepten zijn nieuw en niet getest op het niveau van de transmissie.

- De netvormende convertorregelingen moeten stroombegrenzende functies omvatten, om de klepstromen onder de toelaatbare halfgeleiderstroom te houden. Dit geldt voor de foutstromen en de stromen bij herstel na een storing.

    - Tijdens storingsgebeurtenissen wordt stroombegrenzing bereikt door de convertorspanning op de getroffen fase(n) te verlagen. Bij de opheffing van de storing kan deze stroombegrenzende functie het herstel van andere met dit convertorstation gesynchroniseerde convertorsystemen beïnvloeden. Als dergelijke gebeurtenissen een ongecontroleerde stroming van actieve stroom naar de gelijkstroomzijde in deze (of een andere) HVDC-verbinding veroorzaken, kan een gelijkstroomoverspanningsfout de verbinding buiten dienst stellen. (Mogelijk moet zelfs een gelijkstroomchopper in deze verbinding worden overwogen).
    - De netvormende convertor regelt de spanning en de frequentie in het ‘eiland’-gebied. De convertor op afstand (waarschijnlijk 2 x IZGEM-terminal van 3 GW van het HVDC-systeem van Ventilus) zal de gelijkstroomspanning moeten handhaven.
    - In geval van een wisselstroomstoring aan de terminal van de gelijkstroomspanningsregelaar zal de stroom die vanuit het eiland in de gelijkstroomverbinding wordt geïnjecteerd, tot een stijging in de gelijkstroomverbinding leiden. Daarom kan een gelijkstroomchopper nodig zijn om het teveel aan stroom dynamisch op te vangen.

2. Uitgebreide studies naar het dynamische gedrag

De gekozen leverancier moet uitgebreide studies naar het dynamische gedrag uitvoeren om er zeker van te zijn dat al die scenario's zijn geïdentificeerd, en dat de nodige maatregelen in de regelingen zijn voorzien. Dit vereist dat de as-builtmodellen van alle naburige vermogenselektronische convertoren in de simulaties worden opgenomen. Omdat bij deze interactiestudie verschillende leveranciers zijn betrokken, zal het delen van de modellen met de leverancier een grote uitdaging vormen wegens problemen met de bescherming van de intellectuele eigendom, die ruim vóór het begin van de studies moeten worden aangepakt. Anders zullen het ontwerp en de planning van de uitvoering van het project nadelig worden beïnvloed. De beschikbaarheid van modellen is een bekommernis voor elke nieuwe ontwikkeling, ook voor de optie van de volledige wisselstroomcorridor.

De risico's zijn echter groter wanneer het gaat om ongeteste systemen, zoals de hier besproken HVDC-optie.

Lage kortsluitniveaus hebben een negatief effect op het dynamische gedrag bij het herstel van storingen/verstoringen en op onderdrukkende regelinteracties (en eventueel torsie-interacties) tussen dynamische apparaten. Studies hebben uitgewezen dat de aansluitpunten van de convertoren in het gebied van de Stevin-lus kortsluitverhoudingen kunnen hebben die lager zijn dan 2,0 (in sommige gevallen zelfs 1,5 volgens de beschrijving in de offerteaanvraag). Dit is een bekommernis, want de lage kortsluitverhouding is een aanwijzing voor potentiële problemen met de dynamische respons van vermogenselektronisch gekoppelde apparaten. De HVDC-optie zal de toestand van de kortsluitverhouding verder verslechteren. Dit zal hoogstwaarschijnlijk gevolgen hebben voor de bestaande offshore windmolenparken waarvan de ontwerpregelinstellingen mogelijk niet geschikt zijn voor werking in omstandigheden met een lage kortsluitverhouding. Dit wordt verder besproken in hoofdstuk 4.

De verwachte kortsluitverhoudingen voor de HVAC- en de HVDC-optie worden weergegeven in respectievelijk tabel 1 en tabel 2. Het is duidelijk dat de Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR)[1] [1], [2] sterk zal dalen bij de HVDC-optie.

Opmerking: er bestaat geen universeel aanvaarde norm maar het is onze ervaring, op basis van uitgebreide vroegere projecten die te maken hadden met de integratie van vermogenselektronisch gekoppelde apparatuur zoals apparatuur voor de opwekking van hernieuwbare energie, dat de integratie van die apparatuur een uitdaging wordt wanneer de kortsluitverhoudingen lager zijn dan 2. Er moet bovendien worden opgemerkt dat op vermogenselektronica gebaseerde apparatuur (bestaande apparatuur) die is uitgevoerd met een MIESCR die hoger is dan de ontwerpcriteria, onstabiel gedrag kan vertonen, zelfs bij MIESCR-niveaus boven 2.

Tabel 1: verwachte kortsluitniveaus - HVAC-optie

Geval van HVAC	Met convertorbijdragen				Zonder convertorbijdragen			
	N-0		N-1		N-0		N-1	
	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR
Gezelle (NEMO)	17,66	3,0	17,65	3,0	15,64	2,6	15,51	2,6
TBD (Nautilus)	15,99	4,3	14,61	3,9	14,00	3,7	12,64	3,4

Tabel 2: verwachte kortsluitniveaus - HVDC-optie

Geval van HVAC	Met convertorbijdragen				Zonder convertorbijdragen			
	N-0		N-1		N-0		N-1	
	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR	Sk" (GVA)	MIESCR

Gezelle (NEMO)	22,80	1,4	22,78	1,4	12,77	0,7	12,60	0,7
TBD (Nautilus)	22,75	1,4	22,68	1,5	12,72	0,7	12,67	0,7
Izegem	23,06	2,3	18,72	2,1	13,46	1,3	10,67	1,1
Avelgem	32,74	2,6	27,59	2,2	19,10	1,4	13,98	1,1
Courcelles	22,40	3,1	20,40	2,9	15,74	2,1	13,95	1,9

Opmerking: de MIESCR wordt berekend met behulp van de kortsluitniveaus aan de convertorterminals, de nominale convertorwaarden en de Multi Infeed Interaction Factor (MIIF) tussen de convertoren. De MIIF wordt gewoonlijk berekend met behulp van dynamische RMS-simulaties.

[1] Omdat het studiegebied meer dan een convertorterminal omvat, is er gebruik gemaakt van de Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio (MIESCR), die rekening houdt met de interactie tussen HVDC-terminals die zich op korte afstand van elkaar bevinden, om de kortsluitniveaus aan de convertorterminals te berekenen. Merk op dat de MIESCR een maat is die is afgeleid voor op LCC gebaseerde convertoren, maar in de industrie wordt deze maat ook gebruikt als screeningniveau-indicator voor op VSC gebaseerde convertoren.

Omdat er geen gedetailleerde dynamische RMS-modellen beschikbaar zijn, werd de MIIF geschat met behulp van berekeningen van de energiestroom in stationaire toestand.

De versterking van het systeem met toevoeging van synchrone condensatoren kan nodig zijn om aan de operationele eisen van het totale systeem te voldoen met een grote toevoer van hernieuwbare energie. Wanneer de verbinding met het wisselstroomnet echter wegvalt en de HVDC-convertor en de resterende omvormers een eiland vormen, is de effectiviteit van synchrone condensatoren niet duidelijk en zijn gedetailleerde studies voor deze beoordeling nodig. Dit wordt besproken in hoofdstuk 4.

3. Interactie van wisselstroom-gelijkstroomsystemen

HVDC-regelaars kunnen interactie- en coördinatieproblemen veroorzaken met andere vermogenselektronische regelaars (verschillende leveranciers en/of verschillende industriële toepassingen). Dit verschijnsel is een grotere uitdaging als het gemeenschappelijke aansluitpunt of het algemene gebied van het systeem met verschillende vermogenselektronische omvormers zwak is vanuit het oogpunt van het kortsluitniveau. De HVDC-optie zal dus waarschijnlijk uitdagende interactieproblemen met zich meebrengen[1].

4. Coördinatie van verschillende HVDC-systemen

Verschillende seriële en/of parallelle HVDC-verbindingen kunnen een complexe 'Hoofdregelaar' nodig maken om de HVDC-systemen op elkaar af te stemmen. Snelle regelingen op toezichtsniveau kunnen nodig zijn om aan de operationele eisen te blijven voldoen, als het HVDC-systeem wordt aangenomen. Gedetailleerde ontwerpstudies zullen nodig zijn om de beveiligings- en regelfuncties te bepalen die een succesvolle en gecoördineerde werking garanderen. Samenwerking en coördinatie tussen verschillende leveranciers is nodig om de algemene beveiligings- en regelsystemen op te zetten. De behoefte aan een hoofdregelaar kan pas na uitvoerige studies worden vastgesteld.

5. Vereiste van complexe systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen

Systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen zullen een vitale rol spelen bij het herstel van kritieke verstoringen van het systeem, ongeacht of de HVAC-optie dan wel de HVDC-optie wordt gekozen. Voor de HVDC-optie, die is voorzien van parallel en serieel aangesloten HVDC-systemen met

verschillende niveaus van toelaatbare transiënte/tijdelijke overbelasting, kunnen complexe systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen nodig zijn. Daardoor kunnen systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen die nodig zijn voor de HVDC-optie, ingewikkelder zijn dan de systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen die nodig zijn voor de HVAC-optie.

[1] Zie hoofdstuk 4 voor meer informatie.

3 Technische studies die moeten worden uitgevoerd om een bestek op te maken

Systeemstudies zullen een essentiële vereiste zijn om het systeem zo te ontwerpen dat het in het kader van de HVDC-optie betrouwbaar werkt. In het bijzonder moeten regeltechnieken van afzonderlijke HVDC-systemen en de coördinatie ervan tijdens de werking in stationaire toestand en de opheffing van verstoringen in detail worden bestudeerd, en moeten er oplossingen worden gevonden voor verschillende verwachte bedrijfsomstandigheden. Hieronder volgt een lijst van de minimaal vereiste studies.

- Studies naar de stationaire toestand (analyse van noodsituaties, PV/QV-analyse en storingsanalyse)

Studies naar de stationaire toestand zijn nodig om verschillende verwachte bedrijfsomstandigheden vóór en na een verstoring te analyseren, en een reeks omstandigheden vast te stellen die zowel bij de werking in de stationaire toestand als bij het transiënte herstel problemen kunnen opleveren. Bovendien zullen door middel van studies naar de stationaire toestand oplossingen worden gevonden voor de uitdagingen en beperkingen in de stationaire toestand.

- Studies naar de transiënte stabiliteit

Studies naar de transiënte stabiliteit waarbij gebruik wordt gemaakt van RMS-software, zijn van vitaal belang om te beoordelen in hoeverre het systeem in staat is stabiel te blijven bij kritieke verstoringen, en om kritieke bedrijfsomstandigheden vast te stellen die tijdens de studies naar het dynamische gedrag nader kunnen worden bestudeerd. Gezien de lage kortsluitniveaus die in het studiegebied worden verwacht, kan het nodig zijn om geschikte 'door de gebruiker gedefinieerde' HVDC-modellen te ontwikkelen die nauwkeurig zijn voor het elektromechanische frequentiegebied (0,1 Hz tot 10 Hz).

- Studies naar het dynamische gedrag

Studies naar het dynamische gedrag waarbij gebruik wordt gemaakt van EMT-software (EMT = 'electromagnetic transient', elektromagnetische overgang), zijn essentieel om het dynamische gedrag te bestuderen dat voor een groot frequentiebereik geldig is. Vooral de regelstrategieën die nodig zijn voor de HVDC-systemen kunnen met behulp van studies naar het dynamische gedrag precies worden afgestemd. De betrokkenheid van verschillende leveranciers van windmolenparken en HVDC-systemen kan een belangrijke uitdaging vormen bij het delen van gedetailleerde EMT-modellen. Deze vereiste moet in de aanbestedingsfase goed worden geschetst en vastgesteld.

- Analyse van de stabiliteit bij een zwak signaal

Een groot aantal vermogenselektronische apparaten die zijn aangesloten op zwakke wisselstroomsystemen (een systeem met lage kortsluitniveaus), kan slecht gedempte oscillaties vertonen. Het kan nodig zijn om deze oscillaties te analyseren met behulp van op eigenwaarde gebaseerde technieken teneinde de kenmerken van de stabiliteit bij een zwak signaal (modale vorm en participatiefactor enz.) vast te stellen, zodat er geschikte regelaars (PSS, POD en torsiefilters) kunnen worden ontworpen. Naast de op eigenwaarde gebaseerde technieken kan de analyse van de tijdsdomeinsimulatieresultaten die worden verkregen uit RMS- of EMT-simulaties, worden gebruikt om de instabiliteit bij een zwak signaal te analyseren en geschikte aanpassingen in regelsystemen aan te brengen of dempingsregelaars te ontwikkelen. In het algemeen is het wellicht niet nodig om de instabiliteit bij een zwak signaal in de bestekfase te bestuderen, en kan deze instabiliteit in het bestek alleen worden aangemerkt als een studievereiste voor de leverancier.

- Resonantiestudies

In de fase van de opmaak van het bestek kunnen er studies naar de resonantie op hoog niveau worden uitgevoerd, om eventuele belangrijke problemen vast te stellen die in het bestek kunnen worden gespecificeerd, zodat de leverancier beperkende maatregelen moet vinden.

4 Bespreking van de resterende risico's van de HVDC-optie

Naast de eerder voorgestelde risico's en de risico's die uit studies naar voren komen, wordt verwacht dat de resterende risico's vooral te maken zullen hebben met de mogelijkheid dat, bij afwezigheid van conventionele synchrone machines, verschillende vermogenselektronische bronnen in een eiland werken.

Hieronder vindt u een overzicht van de potentiële resterende uitdagingen:

- Keuze van een geschikte robuuste regelmodus en uitvoering van een naadloze overgang tussen netgekoppelde werking en eilandwerking
    - Hoewel deze modus vaak wordt gebruikt in offshore windmolenparken, is hij niet gebruikelijk in een HVDC-verbinding op transmissieniveau. Voor zover MHI weet, is deze modus nog niet toegepast in een transmissietoepassing met zoveel omvormers en zonder synchrone machines. Er is dus geen bekend geïnstalleerd systeem met soortgelijke omstandigheden waarmee deze toepassing kan worden vergeleken als maatstaf.
    - Het is hoogst onhaalbaar om de regelingen in de bestaande vermogenselektronische convertoren te wijzigen. Daarom moet de HVDC-convertor zo worden ontworpen dat hij deze unieke toestand aankan, en dat de werking van de bestaande systemen in het eiland gegarandeerd niet wordt onderbroken.
    - Voor zwakke netomstandigheden zijn systemen voor netvormende regeling voorgesteld (zoals een gesloten vermogenssynchronisatiecircuit enz.). Deze systemen zijn mogelijk niet toepasbaar in sterke netten of kunnen een andere reeks regelparameters vereisen. Daarom kunnen voor een wijziging van de robuuste regelmodus (of wijziging van de regelparameters) complexere strategieën nodig zijn, zodat de convertor de netconfiguratie kan beoordelen en zich automatisch aan nieuwe omstandigheden kan aanpassen, en zo een stabiel en aanvaardbaar gedrag kan garanderen.

      Opmerking: in een conventioneel systeem waar nog een aansluiting op het wisselstroomnet mogelijk is, kunnen synchrone condensatoren worden toegevoegd aan of in de buurt van een HVDC-station, om de inertie en de fasehoekstabiliteit te vergroten, als het wisselstroomsysteem zwak is.

      In deze toepassing, waar één convertor belast is met de 'vaststelling' van de wisselstroomspanning voor de rest van het eiland, is het niet duidelijk of synchrone condensatoren de stabiliteit van het systeem verbeteren, of dat de inertie ervan onaanvaardbare interacties met de HVDC-convertorregelingen kan veroorzaken in geval van een verstoring. Dit vereist gedetailleerde EMT-studies om te verifiëren of synchrone condensatoren het gedrag van het systeem zullen verbeteren of verslechteren als ze in een eiland werken.

- Effect op het bestaande conventionele wisselstroombeveiligingssysteem bij werking in een eiland (bv. MOG I)
    - Bij eilandwerking kan het gebeuren dat de bestaande wisselstroombeveiligingssystemen die op typische storingsniveaus van het wisselstroomsysteem steunen, niet in staat zijn om storingen te detecteren en de defecte sectie uit te schakelen. De vermogenselektronische convertoren zijn

ontworpen om hun stromen tot hun respectieve nominale niveaus te begrenzen. De bestaande relais van het wisselstroomsysteem die stroomniveaus gebruiken, zijn afgesteld om 'hoge' storingsniveaus te detecteren en zijn mogelijk niet in staat om met succes te werken wanneer een eiland van verschillende omvormers wordt gevormd. Voor deze toestand kan het nodig zijn om extra beveiligingsrelais of -methoden voor een dergelijke configuratie te voorzien.

- Invoering van nieuwe technologie en complexe regelsystemen
    - Een HVDC-optie zoals het systeem dat in figuur 2 wordt afgebeeld, zal een van de eerste (zo niet het eerste) van deze aard zijn. Hoewel er HVDC-systemen bestaan die bulkstroom afvoeren vanuit offshore windmolenparken (bv. Dolwin in Duitsland), gaat het bij deze HVDC-systemen meestal om radiale toevoer vanuit één locatie waar energie wordt opgewekt (windmolenpark) naar één transmissielocatie. Volgens MHI is de voorgestelde HVDC-optie (Ventilus en Boucle du Hainaut) anders en gaat het om een optie die veel betrouwbaarder moet zijn, omdat deze systemen een vermaasd deel van het transmissienet vormen dat op verschillende bronnen is aangesloten. De invoering van nieuwe technologie, nieuwe beveiligings- en regelconcepten en eventueel ingewikkelde systemen voor coördinatie en remediërende veiligheidsmaatregelen (die worden beschreven in hoofdstuk 2), brengt risico's met zich mee, ondanks de studies en de zorgvuldigheidseisen die de basis voor het ontwerp zullen vormen.

5 *Vergelijking van de uitdagingen met de bestaande projecten*

(Een benchmark- en delta-analyse van (eventuele) vergelijkbare projecten of bestaande middelen)

	Technische uitdaging	Bestaand project met soortgelijke uitdaging
1	Uitdagende nettopologie	Offshore windmolenparken met VSC-transmissie: In Duitsland: de eerste drie offshore windmolenparken die met VSC-technologie werden aangesloten (drie verschillende leveranciers leverden het ontwerp en de apparatuur voor de drie projecten), hadden technische problemen die pas na maanden of jaren konden worden opgelost (volledige details niet gepubliceerd). In Australië heeft de exploitatie van wind- en zonne-PV in omstandigheden met een lage kortsluitverhouding aanleiding gegeven tot een aantal problemen. • Black-out in Zuid-Australië van september 2016. • Beperking van de opwekking van hernieuwbare energie om de veiligheid van het systeem te garanderen. In het bijzonder werden fault-ride-through-problemen en laagfrequente oscillaties die tot flickerproblemen kunnen leiden, vastgesteld. Er bestaat een HVDC-verbinding van 500 kV tussen The Dalls, Oregon en Los Angeles, Californië met een parallelle wisselstroomkoppellijn van 500 kV. Dit is een uitdagende configuratie om te voorkomen dat de parallelle wisselstroomkoppellijn overbelast raakt als de HVDC een probleem heeft, en om de HVDC stabiel te houden als de wisselstroomkoppellijn van 500 kV uitvalt. De Manitoba Hydro Nelson River-HVDC had oorspronkelijk een deterministische 'Hoofdregelaar' en die werkte alleen al in het eerste jaar van gebruik negen (9) keer niet zoals het hoort, wat resulteerde in een volledige uitschakeling van de HVDC-verbinding. Deze prestaties werden onaanvaardbaar geacht en de hoofdregelaar werd vervangen door enkele systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen - afzonderlijk beschermingssysteem, frequentieregelsysteem, wisselstroomdempingssysteem ('Power

		Oscillation Damping' - POD), systeem voor afschakeling bij onderfrequentie, crosstripping-systeem en runback-systeem - die gedurende meer dan 35 jaar heel goed hebben gewerkt. Voor bijna alle nieuwe HVDC-verbindingen worden systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen in plaats van de hoofdregelaar gebruikt. Er is nog één hoofdregelaar, de Generator Master Power Controller (GMPC), in Mozambique in Afrika op het Cahora Bassa-HVDC-systeem, en die heeft de laatste 10 jaar een aantal keren niet gewerkt zoals het hoort omdat niet alle gebruiksconfiguraties kunnen worden geprogrammeerd tot ze zijn ervaren.

2	Lage kortsluitniveaus	Manitoba Hydro-voorbeeld: de technische oplossing omvat de werking van ongeveer 2 GVA aan synchrone condensatoren om de HVDC-werking te ondersteunen. Er bestaat een HVDC-verbinding tussen Delta, Utah en Adelanto in Californië, het Intermountain Power Project (IPP), die werd gebouwd in 1981 en goed is voor +/- 400 kV 1600 MW. Deze verbinding wordt opgeknapt en opgewaardeerd tot 2400 MW. De thermische centrale wordt gesloten en vervangen door windenergie. De elektrische inertie zal echter moeten worden vervangen door synchrone condensatoren of door de thermische generatoren om te bouwen tot synchrone condensatoren. Tot nu toe lijkt het veel goedkoper te zijn om de thermische generatoren om te bouwen, omdat ze nog in betrekkelijk goede staat zijn.
3	Interactie van wisselstroom-gelijkstroomsystemen	Het Norther Collector-systeem van Manitoba Hydro voor de HVDC-verbinding is de hele tijd geïsoleerd of bevindt zich in wezen de hele tijd in een eilandconfiguratie. De 32 productie-eenheden hebben PSS'en (power system stabilizers) met de HVDC in frequentieregeling. Er is vrijwel geen belasting die voor enige systeemdemping zorgt. Er zijn problemen met de zelfbekrachtiging tussen de wisselstroomfilter en de generatoren bij lage belasting, een probleem met de resonantie van de 13^{e} harmonische frequentie en zorgen over hoge transiënte overspanning. Deze worden beperkt via systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen, zoals de uitschakeling van de wisselstroomfilters voordat de HVDC-verbinding volledig wordt geblokkeerd, en een werking die alleen plaatsvindt in aanvaardbare bedrijfsconfiguraties. Bijna alle grote HVDC- en HVAC-systemen zullen een soort systeem voor remediërende veiligheidsmaatregelen hebben, om ze met succes in een bestaand wisselstroomsysteem te integreren.

4	Coördinatie van verschillende HVDC-systemen	De HVDC-verbinding tussen Quebec, Canada en Boston MA in de VS was oorspronkelijk gepland als een systeem met vijf terminals. Er werden slechts drie terminals gebouwd tussen Radisson, Nicolet (beide in Canada) en Sandy Pond (VS). Tijdens de systeemstudies bleek dat het bijna onmogelijk is om de 5 terminals te gebruiken vanwege commutatiestoringen (opmerking: VSC-technologie kent geen problemen met commutatiestoringen. Het is een specifiek probleem voor conventionele netgestuurde HVDC-technologie (LCC-HVDC-technologie)). Naar verluidt is er in China een VSC-verbinding met vijf terminals in gebruik, maar tot nu toe is er geen informatie beschikbaar over de werking ervan.
5	Vereiste van complexe systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen	De Manitoba Hydro Nelson River-HVDC had oorspronkelijk een deterministische 'Hoofdregelaar' en die werkte alleen al in het eerste jaar van gebruik negen (9) keer niet zoals het hoort,

		wat resulteerde in een volledige uitschakeling van de HVDC-verbinding. Deze prestaties werden onaanvaardbaar geacht en de hoofdregelaar werd vervangen door enkele systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen - afzonderlijk beschermingssysteem, frequentieregelsysteem, wisselstroomdempingssysteem, systeem voor afschakeling bij onderfrequentie, crosstripping-systeem en runback-systeem - die gedurende meer dan 35 jaar heel goed hebben gewerkt. Voor bijna alle nieuwe HVDC-verbindingen worden systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen in plaats van de hoofdregelaar gebruikt. In Afrika is er een HVDC-verbinding van +/- 533 kV, 2000 MW tussen Mozambique en Zuid-Afrika, en een parallelle wisselstroomleiding van 400 kV. De waterkrachtcentrale heeft één generator van 415 MW die aan de wisselstroombus van 400 kV is toegewezen, en vier generatoren van 415 MW die aan de HVDC zijn toegewezen en via een koppelschakelaar zijn aangesloten. De HVDC-verbinding wordt bediend met de systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen 'Wisselstroomdempingsregeling' als ze is gekoppeld (koppelveld gesloten), en 'Frequentieregeling' als het koppelveld is geopend.

6 Conclusie

MHI nam de op HVDC-transmissie gebaseerde ontwikkelingen van de Ventilus- en Henegouwen-transmissieverbeteringen in overweging. Volgens MHI gaat de HVDC-technologie gepaard met technische uitdagingen vanwege de unieke aard van het systeem. Een HVDC-optie zoals het systeem dat wordt besproken, zal een van de eerste (zo niet het eerste) van deze aard zijn. Enkele van de belangrijkste uitdagingen en de te verwachten risico's worden hieronder opgesomd.
Gezien het gebrek aan maturiteit van deze oplossing en het hoge risicoprofiel, is dit niet de voorkeurs- en aanbevolen optie van MHI. MHI raadt af om voor dit specifieke geval gelijkstroomtechnologie te gebruiken.

	Technische uitdaging	**Risiconiveau**	**Opmerkingen (risicobeheer)**	**Risico's in vergelijking met wisselstroomoptie**
1	Uitdagende nettopologie	Hoog	• Nieuwe transmissieverbeteringen om het eilandrisico uit te sluiten (dit valt buiten het toepassingsgebied) • Geavanceerd ontwerp van HVDC-regelaars verbetert de eilandprestaties - bv. netvormende regelingen met naadloze overgang naar netvolgend • Systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen	• Met HVAC zijn de topologiegerelateerde uitdagingen minder groot. HVDC-regelingen van het netvormende type zullen niet nodig zijn.
2	Lage kortsluitniveaus	Hoog	• Gebruik van synchrone condensatoren/STATCOM's verlengt het gebruik van bestaande synchrone generatoren • Regelinstellingen voor het ontwerp van windmolenparken opnieuw afstemmen	• Met HVAC zullen de kortsluitniveaus op het aansluitpunt van de convertoren hoger zijn.
3	Interactie van wisselstroom-gelijkstroomsystemen	Gemiddeld	• Gebruik van synchrone condensatoren om de kortsluitniveaus te verbeteren • Verbeteringen in het ontwerp van HVDC-regelaars • PSS, POD enz.	• Lagere risico's omdat de kortsluitniveaus hoger zijn, en één minder grote HVDC in het net.
4	Coördinatie van verschillende HVDC-systemen	Gemiddeld	• Uitvoering van een complexe 'Hoofdregelaar' om HVDC-systemen op elkaar af te stemmen. • Systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen	• N.v.t.

5	Vereiste van complexe systemen voor remediërende veiligheidsmaatregelen	Gemiddeld tot hoog	• Verbeterde afstemming tussen HVDC en de synchrone condensatoren/windmolen-parken	• De eisen voor dergelijke systemen zullen minder streng zijn, en dus zijn de risico's geringer.
6	Uitdagingen in verband met VSC-technologie	Laag tot middelhoog	• Fasering van de ontwikkeling, zodat mature technologieën beschikbaar zijn voor latere fasen. • Verschillende leveranciers bij het ontwerpproces betrekken.	• N.v.t.

7 Referenties

[1] Cigre Working Group B4.41, Systems with Multiple DC Infeed, december 2008.
[2] ALSTOM, '*HVDC Connecting to the future'*, ALSTOM GRID, 2010.

8 Bijlage: MIESCR-berekeningen (MIESCR = Multi Infeed Effective Short Circuit Ratio)

- ESCR (Effective Short Circuit Ratio) is een maat voor de systeemsterkte van convertorbussen van één HVDC-systeem. Gewoonlijk wijst een ESCR-waarde hoger dan 2,5 op een toereikende sterkte voor de vermogens-/spanningsstabiliteit in het wisselstroomsysteem dat met het HVDC-systeem is verbonden.

- Evenzo worden MIESCR-waarden [1], [2], wanneer verschillende HVDC-systemen een gemeenschappelijk wisselstroomsysteem delen, als maat voor de systeemsterkte van convertorbussen gebruikt. Deze berekening kan worden gebruikt om omstandigheden vast te stellen waarin het risico op subsynchrone regelinteracties hoog is, omdat de kans daarop groter is als twee of meer dynamische apparaten zijn aangesloten in de buurt van een locatie met een lage systeemsterkte.

- De Multi Infeed Interaction Factor (MIIF) heeft betrekking op de interactie tussen wisselstroomspanningen van willekeurige convertorbussen en wordt als volgt bepaald;

$$MIIF_{e,n} = \frac{\Delta V_e}{\Delta V_n}$$

ΔV_e: de vastgestelde spanningswijziging aan de bus op afstand
ΔV_n: de stapverandering die wordt toegepast aan de omvormerbus

- MIESCR wordt als volgt bepaald:

$$MIESCR_i = \frac{(SCC_i - Qf_i)}{Pdc_i + \sum_j (MIIF_{j,i} \times Pdc_j)}$$

SCC_i	=	kortsluit-MVA aan de omvormerbus
Qf_i	=	busfilter- en condensator-MVA
Pdc_i	=	nominaal gelijkstroomvermogen van de HVDC-verbinding die is aangesloten op bus i
Pdc_j	=	nominaal gelijkstroomvermogen van de verbinding aan bus j
$MIIF_{j,i}$	=	MIIF berekend aan bus j, voor 1% spanningswijziging aan bus i

9 *Bijlage: geïntegreerde HVDC in het wisselstroomnet - specifieke vragen van ELIA.*

- Kan deze configuratie tot problemen met de stabiliteit van het systeem (spanning, frequentie) en tot ongunstige wisselstroomsysteeminteracties leiden?
    - Stabiliteitsproblemen, en meer bepaald problemen met de dynamische respons, moeten mogelijk worden aangepakt door de verzwakking van de wisselstroomsysteemlocaties waar naar verwachting windenergieopwekking zal worden aangesloten.
    - Uitdagingen zijn onder meer herstel na storingen, instabiele interacties tussen verschillende op omvormers gebaseerde apparaten.
    - Moeite met de spanningsregeling tijdens het herstel van systeemgebeurtenissen.

- Complexe wisselstroombeveiligingscoördinatiesystemen kunnen vereist zijn
    - Het kan nodig zijn om runback-systemen vast te stellen om de stabiliteit van het systeem te handhaven.

- Kan de overbelasting van parallelle wisselstroomleidingen niet automatisch overnemen
    - Snelle runback-systemen kunnen een oplossing zijn. Deze oplossingen worden vastgesteld via gedetailleerde systeemstudies.
    - Bovendien kan het bestaan van (een) parallelle(e) wisselstroompad(en) bij de HVDC-verbinding een speciale regelstrategie in het HVDC-systeem vereisen, om stroomcirculatie tussen HVDC en de parallelle wisselstroomcorridor(s) te voorkomen. Dergelijke technieken worden toegepast in enkele HVDC-systemen die in gebruik zijn.

- Verschillende seriële en/of parallelle HVDC-verbindingen kunnen een 'Hoofdregelaar' nodig maken.
    - Snelle regelingen op toezichtsniveau kunnen nodig zijn om aan de operationele eisen te blijven voldoen, als het HVDC-systeem wordt aangenomen. Gedetailleerde ontwerpstudies zullen nodig zijn om de beveiligings- en regelfuncties te bepalen die een succesvolle en gecoördineerde werking garanderen. Samenwerking en coördinatie tussen verschillende leveranciers is nodig om de algemene beveiligings- en regelsystemen op te zetten.

- HVDC-regelaars kunnen interactie- en coördinatieproblemen veroorzaken met andere vermogenselektronische regelaars (verschillende leveranciers en/of verschillende industriële toepassingen).
    - Dit verschijnsel is een grotere uitdaging als het gemeenschappelijke aansluitpunt of het algemene gebied van het systeem met verschillende vermogenselektronische omvormers zwak is vanuit het oogpunt van het kortsluitniveau. De HVDC-optie zal dus waarschijnlijk uitdagende interactieproblemen met zich meebrengen.

- VSC in zwakke wisselstroomsystemen.
    - Bekommernissen in verband met de instabiliteit bij een zwak signaal.
        - Dit is waarschijnlijk geen kritieke uitdaging als een gecoördineerde ontwerpbenadering kan worden gehanteerd, waarbij alle leveranciers van apparatuur samenwerken om modelgegevens te verstrekken en de nodige aanpassingen aan de regelinstellingen en ontwerpen van hun apparatuur door te voeren.
    - Onverwachte uitschakelingen van de HVDC-verbindingen bij werking in

omstandigheden met een lage kortsluitverhouding.
    - Het risico kan tot een minimum worden beperkt door een goed ontwerp en gedetailleerde verificatiestudies
- Onaanvaardbare respons van het wisselstroomsysteem door omstandigheden met een lage kortsluitverhouding
    - Het risico kan tot een minimum worden beperkt door een goed ontwerp en gedetailleerde verificatiestudies

Resonance and Transient Behavior of Extensive Cable Grid

Report on Frequency Domain Assessment and Mitigation of Power System Resonances

KU LEUVEN

Energy Ville

This report forms part of the project "Resonance and transient behavior of extensive cable grid", commissioned by Elia Engineering nv/sa, a member of the Elia Group.

Report editor and project coordination: dr. Willem Leterme
Under supervision of prof. Dirk Van Hertem and prof. Jef Beerten
Contributors: dr. Aleksandra Lekić, Rickard Lundholm, Philippe De Rua, Özgür Can Sakıncı
June, 2020
Please refer to this report as: W. Leterme *et al.*, "Resonance and Transient Behavior of Extensive Cable Grid - Report on Frequency Domain Assessment and Mitigation of Power System Resonances", KU Leuven/EnergyVille, Leuven/Genk, Belgium, Project Report, June 2020

Contents

Executive Summary 6

1 Introduction 7
- 1.1 Series and parallel resonances . . . 7
- 1.2 Resonance Cases in Practice . . . 9
- 1.3 Normative References and Guidelines . . . 10

2 Calculation Methods 12
- 2.1 Preliminary Analysis . . . 12
- 2.2 Frequency Scan . . . 13
- 2.3 Harmonic Resonance Mode Analysis . . . 15
- 2.4 Voltage Scan . . . 16
- 2.5 Background Harmonic Amplification Calculation . . . 17
- 2.6 Implementations in Commercial Software Tools . . . 17

3 Models 19
- 3.1 Transmission Lines . . . 19
- 3.2 Transformers . . . 23
- 3.3 Synchronous Machines . . . 26
- 3.4 Shunt Compensation - Reactors . . . 27
- 3.5 Passive Loads . . . 28
- 3.6 Frequency-Dependent Resistance . . . 31
- 3.7 Active Components (Power-Electronic) . . . 31
- 3.8 Network Modeling Detail and Network Equivalents . . . 33
- 3.9 Summary . . . 35

4 Result Interpretation 37
- 4.1 Preliminary Analysis . . . 37
- 4.2 Frequency Scan . . . 37
- 4.3 Harmonic Resonance Mode Analysis . . . 39
- 4.4 Comparison of Frequency Scan vs HRMA . . . 40
- 4.5 Conclusions . . . 41

5 Frequency Domain Assessment of Severity of Cable Resonances 42
- 5.1 Amplification of Background Harmonics . . . 42
- 5.2 Temporary Overvoltages (TOV) due to resonance . . . 43
- 5.3 Summary . . . 46

6 Mitigation Methods 47
6.1 Mitigation of Harmonics . . . 47
6.2 Mitigation of Temporary Overvoltages . . . 48
6.3 Practical Examples . . . 49
6.4 Summary . . . 49

7 Example Case 50

8 Conclusion 55

A Case Parameters 62
A.1 Example Test System . . . 62
A.2 Grid Equivalents . . . 64
A.3 Cables . . . 64
A.4 Overhead lines . . . 64
A.5 Transformers . . . 64
A.6 Loads . . . 64

Executive Summary

This report forms part of the project "Resonance and transient behavior of extensive cable grid" and presents a detailed literature review on (i) modelling aspects, (ii) calculation methodologies and their usage in practical studies, (iii) assessment criteria based on the frequency domain results to identify dangerous situations and (iv) mitigation measures related to grid resonances. A case study is included to illustrate the general use of the calculation methodologies and models for studying frequency shifts.

Increasing the share of cables in the power system in general leads to a shift of power system resonances to lower frequencies, thereby possibly introducing problems associated with two phenomena. First, existing background harmonics may be amplified to unacceptable levels, leading to e.g. power quality problems at lower voltage levels. Second, resonances at low frequencies (100-200 Hz) may lie at the origin of (resonant) temporary overvoltages. These overvoltages were found to prevail especially during switching events in weak systems or in systems with a large amount of cables. An example case study in this document confirms that increasing the amount of cables caused a shift of existing resonances to lower frequencies and an increase of resonance peaks in the frequency region up to 2500 Hz.

The literature and industry practice shows that several mitigation methods exist to deal with resonance problems, but some of these may also introduce increased complexity in planning and operating the grid (e.g. applying filters), or may interfere with other grid constraints (e.g. increased system strength leading to increased short-circuit currents). Mitigation methods can be classified into (i) avoiding the problem (e.g. limiting cable length, avoiding switching scenarios), (ii) suppressing the phenomenon (e.g., using filters) or (iii) adapting the grid components to withstand the phenomenon (e.g. increasing surge arrester ratings).

This report discusses in detail frequency domain assessment methods for background harmonic amplification and (resonant) temporary overvoltages. At present, frequency domain methods are used in practice (i) to estimate harmonic amplification of voltages for grid expansion projects and (ii) in a screening study to find potentially problematic cases concerning temporary overvoltages. The screening study is used to narrow down the number of cases to be assessed in further time domain studies, which are more accurate but also more time consuming. The screening study in the frequency domain finds problematic cases by using limits which are typically based on operational experience or simplified time domain studies.

The report contains eight chapters. In the first chapter a general introduction is given, including industrial reference cases and normative references relevant for resonance analysis. In the second and third chapter, frequency domain calculation methods for and modeling aspects of resonance studies. The fourth chapter elaborates on the interpretation of results as obtained using the frequency domain calculation methods. The fifth chapter introduces the assessment methods as practically used today. In the sixth chapter, mitigation methods for background harmonic amplification and temporary overvoltages are described. The seventh chapter provides an illustration of the frequency domain calculation methods, modeling and result interpretation for resonance analysis in a demonstration grid. The eighth chapter provides the conclusions.

1

Introduction

This report forms part of the project "Resonance and transient behavior of extensive cable grid" and presents a detailed literature review on (i) modelling aspects, (ii) calculation methodologies and their usage in practical studies, (iii) assessment criteria based on the frequency domain results to identify dangerous situations and (iv) mitigation measures related to grid resonances. A case study is included to illustrate the general use of the calculation methodologies and models in order to study frequency shifts.

The report contains eight chapters. In the first chapter a general introduction is given, including industrial reference cases and normative references. In the second chapter, calculation methods for resonance analysis are provided. The third chapter discusses modeling aspects for resonance studies. The fourth chapter elaborates the result interpretation as obtained using the calculation methods. The fifth chapter introduces the assessment methods as practically used today. In the sixth chapter, mitigation measures are described. The seventh chapter provides an illustration of the calculation methods, modeling and result interpretation for a demonstration grid. The eighth chapter provides the conclusions of the report.

1.1 Series and parallel resonances

Power system resonances occur due to the energy exchange between the inductive and capacitive elements within the power system. The introduction of cables into the power system causes an increase in the system capacitance of about twenty times higher than an overhead line of the same length [1]. As a consequence, the resonances in the power system shift to lower frequencies. In general, power system harmonics at lower frequencies are higher in amplitude compared to the ones at higher frequencies. As a consequence, background harmonics in the power system currents present at these lower frequencies may be amplified due to the introduction of cables. Amplified background harmonics may cause voltages and currents in equipment to exceed normal operating ratings, leading to a power quality issues or increased stresses on equipment. Furthermore, during switching events such as component energization, resonance phenomena may occur resulting in temporary overvoltages. Given that, during switching of these elements, the amplitude of low-frequency harmonics is of concern, e.g., in the range of 100-150 Hz, temporary overvoltages may become more severe due to the increase of cables in the system. Temporary overvoltages may lead to instantaneous equipment failure, reduced

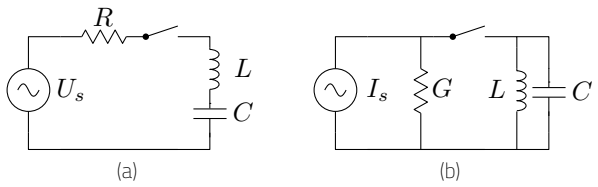


Figure 1.1: Example series (a) and parallel (b) resonance circuits.

lifetime of equipment due to voltages stresses or present hazards to personnel onsite [2].

1.1.1 Series Resonance

Series resonance occurs when a voltage source excites the resonant frequency of a series connected inductive and capacitive element. In the simple example of Fig. 1.1a, taken from [2], the impedance as seen by the source is given by:

$$Z_s = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right). \tag{1.1}$$

At the resonant frequency, $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ and the impedance becomes R. The current in the circuit is then U_s/R, and the voltages U_L and U_C may reach high amplitudes.

The occurrence of series resonance may be related to interplay between shunt compensation and circuit capacitances (e.g., shunt reactors connected directly to a circuit) or combinations of cables and transformers. Series resonances at fundamental frequency may also occur with (wanted or unwanted) non-synchronized switching of phases in compensated circuits, as interplay between shunt compensation and circuit capacitances [2].

For switching studies, series resonance is normally studied by assessing the resonant frequencies of the circuit and comparing against the frequencies in the switching overvoltage, considering the worst case switching condition [3].

In [4], an example case is studied where a cable energization overvoltage in the high-voltage network is transferred to the low-voltage network as the dominant frequency of the overvoltage matched the natural frequency of the series resonance circuit composed of the cable and the transformer connected at the secondary side. In [5] temporary overvoltages due to series and parallel resonances were studied. The overvoltages due to series resonances were found to be lower than the standard short-duration power-frequency withstand voltage specified in IEC71-1.

1.1.2 Parallel Resonance

Parallel resonance occurs when a current source excites the resonant frequency of a parallel connected inductive and capacitive element. In the simple example of Fig. 1.1b, taken from [2], the admittance seen by the current source is given by:

$$Y_p = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right). \tag{1.2}$$

At the resonant frequency, $\omega C = \frac{1}{\omega L}$ and the admittance becomes equal to G. Under these conditions, the currents through the capacitor and inductor take high amplitudes but cancel each other out towards the external network. The voltage on the network components takes a value of I/G, which increases as G decreases.

In [3], potential causes of parallel resonance are transformer energization, cable energization or injection of harmonic frequencies by, e.g., HVDC converters. Transformer energization is considered as the most dangerous one, given high harmonic content, low frequency, low damping and long duration. In particular, parallel resonances around 100 Hz are considered dangerous.

In [6], it is mentioned that parallel resonances can also occur in systems with long HVAC cables, formed by the shunt reactors and the distributed capacitance of the cable.

1.1.3 Impact of cables on resonances

The grid resonances are an interplay between the inductive and capacitive elements in the grid. It may be stated that cables introduce more capacitance into the grid, thereby lowering the resonant frequencies. The general trends associated with cables for varying grid parameters (cable length, grid strength and XR-ratio) are further investigated in [1] in an explorative study and are discussed below in brief.

In [1], the general trends associated with cable resonances are studied. The study considers a cable connected to a grid represented by an equivalent inductance and resistance, representing the grid strength and XR-ratio. In the study, the input impedance (cable input voltage/cable input current), transfer function (cable input vs. cable output current) and output impedance (cable output voltage/cable output current) are calculated. It is concluded that (i) a stronger grid causes a shift of frequency peaks to a higher frequency, but also an increase in magnitude of the peaks, (ii) increasing the cable length lowers the resonance frequency but a decrease in magnitude of the peaks due to the cable resistance, (iii) the sensitivity of the resonance peak magnitudes to the resistive damping is high.

1.2 Resonance Cases in Practice

In the literature, studies and problems associated with resonances due to cables have been reported. The experiences and studies associated with the Danish system are discussed in [7], [8] and [9].

In [7] the high amplitudes of the 11th and 13th harmonic measured in the 15 kV power system of the Anholt island were related to amplification of background harmonics in the 400 kV transmission system. The reason for amplification of background harmonics in the 400 kV system was found in parallel resonance peaks appearing in the frequency spectrum of the equivalent impedance seen from the 400 kV connecting bus.

In [8], experiences from the Danish TSO related to the Horns Rev A and studies for the Horns Rev B wind farms are discussed. The paper indicates that the impedance as seen from the wind farm system is dominated by the cable system, and has a first resonance peak around 140 Hz. Furthermore, the paper analyzes slowly decaying oscillating voltages after disconnecting the wind farm. The paper mentions potential overvoltages when one of the two cable systems (connected in parallel) is disconnected before the other one.

In [9], the 400 kV 60 km Kyndbyværket – Asnæsværket Line is investigated for overvoltages due to series and parallel resonance. A guideline is given for assessing overvoltages for both types of resonance. For series resonance, a guideline for calculating the dominant frequencies in the overvoltages are proposed, as also documented in [4].

The experiences of the French TSO RTE with long EHVAC insulated cables are published by Vernay *et al.* in [10]. The authors report that as a result of the resonances, existing 3^{rd} and 5^{th} background harmonics are amplified up to 20 times. The harmonic studies were carried out using field measurements and simulations in EMTP-RV. To determine harmonic amplifications in future projects, RTE calculates a voltage gain of the future grid situation to the existing grid situation. To assess the harmonics in the future grid situation, the background harmonics measured in the system are multiplied by the calculated gain.

In [5] a study concerning temporary overvoltages due to series and parallel resonances was done for an increased penetration of cables in the Ireland system. It is mentioned that a transformer failure was experienced during test energization by TEPCO, due to an overvoltage caused by series resonance. For the Irish system, overvoltages due to series resonance were analyzed by energizing the 220 kV from the 400 kV system. In this case, no overvoltages exceeding any equipment limit were found. However, an extreme case of parallel resonance (during black start) was found (yet not documented in the report). To analyze overvoltages due to parallel resonance, a frequency scan was performed for various source impedances, cable compensation rates and cable lengths. Based on this study, EMT-type simulations were performed to analyze overvoltages following switching actions. It was found that in certain cases, the surge arrester energy absorption capability was exceeded.

The maximum cable length to be inserted in the 400 kV or 220 kV West-Grid project is assessed by EirGrid in [11]. The authors propose a methodology in consecutive steps, including network modeling, reactive power compensation, scenario selection, frequency scan and time domain simulations. An assessment criterion based on TOV withstand capability is discussed. The authors conclude that in the 400 kV system, a 10 km cable is not acceptable, and a tuned filter at around 150 Hz would be required to mitigate overvoltages due to switching actions for 23 to 30 km of cable in the 220 kV grid.

In The Netherlands, the challenges associated with cable systems were tackled in the Dutch cable research program. The Dutch cable research program led to several PhD theses related to resonant and transient behavior of cable grids, amongst them [12, 13, 14, 15]. The Dutch TSO TenneT also conducted frequency scan studies in DIgSILENT Power Factory and ATP-EMTP to reveal a resonance around 125 Hz due to the foreseen connection of offshore wind farms to the 380 kV network via long offshore cables [16].

In [17], the harmonic impedances and mitigation techniques for a system expansion with cables in Connecticut were analyzed. The conclusions were (i) additional cables lead to lower resonance frequencies, (ii) resonance points below the third harmonic were possible with certain grid expansions (and were considered risky), (iii) a combination of C-type filters and STATCOMs could be used as mitigation techniques and (iv) transient analyses with detailed system models are recommended.

The majority of studies on switching overvoltages focus on the introduction of parallel resonances around 100-200 Hz due to the insertion of long cables, and consider these cases potentially problematic for switching overvoltages or fault recovery. In [5], recommendations are to avoid switching in networks with parallel resonance peaks close to 100 Hz. In [18], thresholds are set on the impedances around 100-200 Hz to identify cases to for further investigation. In [17], 150 Hz is considered as a border frequency below which ideally no resonance peaks occur. In [11], a case with a peak around 150 Hz was investigated and was shown to lead to unacceptable overvoltages.

1.3 Normative References and Guidelines

1.3.1 Normative References

IEEE 399 IEEE Std. 399 is the "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book)". It provides multiple studies and guidance for the preparation of these studies. Some of the studies discussed are: load flow studies, short-circuit studies, stability studies, motor starting studies, harmonic analysis studies, switching transient studies, reliability studies, cable ampacity studies, ground mat studies, coordination studies, and dc auxiliary power system analyses.

IEEE 519 IEEE Std. 519 has the title "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems". The version of 2004 [19] contains a part on harmonic measurements and a part on recommended harmonic voltage and current distortion limits. The version of 1992 [20] is more elaborate, e.g., there is a section on modeling, but information may be outdated.

IEEE 1531 IEEE Std. 1531 - 2003 (R2009) is the "IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters". It specifies design considerations for harmonic filters in general and gives specific recommendations for filter design for low-, medium- and high-voltage filters.

IEEE 3002.8-2018 is the "Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems". It describes methodology for harmonic analysis, system simulation and modeling, required input data, data collection and preparation and gives recommendations for study scenarios, solution parameters and results. The standard particularly focuses on industrial and commercial power systems, although the basics also apply to high-voltage systems. The standard focuses on steady-state harmonics rather than time-varying harmonics.

IEC 61000 IEC 61000 provide according to [ArrillagaBook] internationally accepted information for the control of power system harmonic (and inter-harmonic) distortion. It mainly discusses electromagnetic compatibility (EMC).

IEC TR60071-4 IEC TR60071-4:2004 is a "Computational guide to insulation co-ordination and modeling of electrical networks". It classifies parallel line resonance as a temporary overvoltage and provides modeling guidelines. It also presents a method for a fast estimate on temporary overvoltages and a detailed calculation method.

1.3.2 Guidelines

CIGRE TB139 The second chapter of the addendum to CIGRE TB139 [21] from WG B4.47 (Guide to the specification and design evaluation of AC filters for HVDC systems) discusses considerations for network modeling and selecting case studies for AC filter design for HVDC systems. The appendix of this chapter also contains information on AC network impedance modeling for harmonic frequencies, focusing on loads, transformers, machines and transmission lines.

CIGRE TB556 This technical brochure [6] discusses technical performance issues related to long AC cables, and gives modeling recommendations for cables for power frequency and transient studies.

CIGRE TB568 This technical brochure [22] provides a generic guidance on transformer energization studies in power systems. In particular, it discusses the problems associated with overvoltages as a result of parallel resonances during transformer energization. It also provides an overview of mitigation measures and best practices associated with these overvoltages.

CIGRE TB569 This technical brochure [2] discusses the fundamentals of resonance and ferroresonance in power networks, introduces typical topologies and gives modeling recommendations mainly for resonance at fundamental frequency and ferroresonance.

CIGRE TB766 This technical brochure [23], released in April 2019, contains extensive up-to-date information on network modeling for harmonic studies. Besides passive elements, it also dedicates a chapter to power-electronic based network elements.

CIGRE TB754 CIGRE TB754 discusses harmonic aspects with VSC HVDC systems. It discusses the VSC as source of harmonics and proposes modeling methods for VSCs in harmonic studies. In the brochure, harmonic instabilities due to control interactions (e.g., non-passivity) of the VSC with the grid impedance are also discussed.

CIGRE WGB4.66 CIGRE WGB4.66 (TB number to be assigned) discusses the coordinated design of harmonic filters for HVDC converter station in close proximity. It discusses aspects such as filter rating, identification and prevention of potentially problematic resonances and specification of harmonic limits applied to this particular case. For instance, it recommends a harmonic interaction screening based on (harmonic) multi-infeed interaction factors.

2

Calculation Methods

This chapter introduces the calculation methods that can be used for a frequency-domain assessment of resonances and harmonics. It mainly details the rationale behind the calculation methods. Chapter 4.5 details the interpretation of the results of these calculation methods and provides a comparison of when to use which method.

2.1 Preliminary Analysis

In [1], a simplified calculation method is used in a preliminary analysis. The resonant frequency is estimated based on:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \tag{2.1}$$

where L is calculated based on the short-circuit power of the grid connected to the cable and C is the total cable capacitance. This method is also used in IEEE Std. 519-1992 [20] in a preliminary analysis concerning capacitors.

The drawbacks of this method is that (i) it ignores frequency-dependent effects in the impedance of the feeding grid, and (ii) it ignores distributed effects in the cable capacitance and (iii) it lumps all of the capacitance at a single point. In [24], it is concluded that this method is too crude to be practical even for resonance calculations with capacitor banks. In cable applications, the errors by this method were found to grow larger for long cables connected to strong grids [1].

In [9], a similar simple calculation method is given for a cable which is modeled using distributed parameters. The resonance frequency of such a cable is given by:

$$f_r = \frac{1}{4\sqrt{LC}}, \tag{2.2}$$

where L and C are the total inductance and capacitance of the cable.

We recommend to use these methods only in a preliminary analysis to identify the range of frequencies potentially introduced by the cable system.

2.2 Frequency Scan

A frequency scan analysis provides the "input" impedance at the injection bus or "transfer" impedance from the injection bus to the test bus for each frequency. The input impedance at node k is calculated as the relationship between the current injected at node k, considering all other current injections zero, and the resulting voltage at node k. The transfer impedance from node k to node l is considered as the relationship between the current injected at node k, considering all other current injections as zero, and the resulting voltage at node l. With injection bus, the bus at which the harmonic current is injected is meant, whereas with test bus, the bus at which the harmonic voltage is evaluated is meant.

2.2.1 Admittance Matrix

In this case, the input and transfer impedances are calculated by first calculating the admittance matrix Y. The admittance matrix Y can be constructed based on the network topology and the primitive admittance matrices of each component.

For an N-node network, for each frequency ω_n, the relationship between currents injected at the nodes $\{I_1(\omega_n), \ldots I_N(\omega_n)\}$ and voltages on the nodes $\{U_1(\omega_n), \ldots U_N(\omega_n)\}$ is given by

$$\begin{bmatrix} I_1(\omega_n) \\ I_2(\omega_n) \\ \vdots \\ I_k(\omega_n) \\ \vdots \\ I_N(\omega_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,1}(\omega_n) & Y_{1,2}(\omega_n) & \cdots & Y_{1,k}(\omega_n) & \cdots & Y_{1,N}(\omega_n) \\ Y_{2,1}(\omega_n) & Y_{2,2}(\omega_n) & \cdots & Y_{2,k}(\omega_n) & \cdots & Y_{2,N}(\omega_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{k,1}(\omega_n) & Y_{k,2}(\omega_n) & \cdots & Y_{k,k}(\omega_n) & \vdots & Y_{k,N}(\omega_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N,1}(\omega_n) & Y_{N,2}(\omega_n) & \cdots & Y_{N,k}(\omega_n) & \cdots & Y_{N,N}(\omega_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(\omega_n) \\ U_2(\omega_n) \\ \vdots \\ U_k(\omega_n) \\ \vdots \\ U_N(\omega_n) \end{bmatrix}, \tag{2.3}$$

where $Y_{x,y}(\omega_n)$ is the matrix element at position x, y in the admittance matrix $Y(\omega_n)$ at frequency ω_n. In the following, the argument ω_n is omitted for brevity of notation, thereby implicitly assuming that all quantities are calculated at a certain frequency.

The impedance matrix can then be calculated as the inverse of the admittance matrix:

$$Z = Y^{-1}. \tag{2.4}$$

The on-diagonal entries represent the "input-" or "self-impedances", i.e., the Thévenin impedance of the network as seen from bus k. The off-diagonal entries represent the "transfer" or "mutual" impedances. The harmonic voltage at a bus l for an injection of 1.0 A with a harmonic frequency of h at bus l can thus be found as the amplitude of $Z_{h,k,l}$.

Alternatively, the input impedance can be calculated using following steps. First, the voltage at node k is put at the first row of the voltage vector U. This requires changing columns 1 and k:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ I_k \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,k} & Y_{1,2} & \cdots & Y_{1,1} & \cdots & Y_{1,N} \\ Y_{2,k} & Y_{2,2} & \cdots & Y_{2,1} & \cdots & Y_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{k,k} & Y_{k,2} & \cdots & Y_{k,1} & \vdots & Y_{k,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N,k} & Y_{N,2} & \cdots & Y_{N,1} & \cdots & Y_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_k \\ U_2 \\ \vdots \\ U_1 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

Thereafter, rows 1 and k are changed as to put I_k at the first row of the current vector I:

$$\begin{bmatrix} I_k \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{k,k} & Y_{k,2} & \cdots & Y_{k,1} & \cdots & Y_{k,N} \\ Y_{2,k} & Y_{2,2} & \cdots & Y_{2,1} & \cdots & Y_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{1,k} & Y_{1,2} & \cdots & Y_{1,1} & \cdots & Y_{1,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N,k} & Y_{N,2} & \cdots & Y_{N,1} & \cdots & Y_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_k \\ U_2 \\ \vdots \\ U_1 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

The admittance matrix is now in the format of:

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{k,k} & Y_{k,:} \\ \hline Y_{:,k} & Y_{:,:} \end{array}\right], \tag{2.7}$$

and Kron elimination can be applied to find the equivalent admittance seen from bus k:

$$Y_k = Y_{k,k} - Y_{k,:} Y_{:,:}^{-1} Y_{:,k}. \tag{2.8}$$

The input impedance can be calculated as the inverse of Y_k:

$$Z_{h,k,k} = Y_k^{-1}. \tag{2.9}$$

The transfer impedance from node k to node l can be obtained via a similar routine, where instead of U_k, U_l is swapped with the first row.

2.2.2 ABCD Matrix

The ABCD matrix presents an alternative approach for representing multiport network. Each subnetwork of the multiport network can be represented using ABCD parameters between chosen input pins (nodes) and output pins (nodes). Input and output nodes are described by their voltage and current. Thus, ABCD parameters provide a connection between input voltages and currents and output voltages and currents. Let us assume that with $V_{i,k}$ and $I_{i,k}$ are denoted as the k-th multiport input voltage and current, and with $V_{o,k}$ and $I_{o,k}$ the k-th output voltage and current, respectively. In case of N input and N output nodes, the ABCD parameters result in the following matrix relation:

$$\begin{bmatrix} V_{i,1} \\ V_{i,2} \\ \vdots \\ V_{i,N} \\ I_{i,1} \\ \vdots \\ I_{i,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \cdots & A_{1,N} & B_{1,1} & B_{1,2} & \cdots & B_{1,N} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \cdots & A_{2,N} & B_{2,1} & B_{2,2} & \cdots & B_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N,1} & A_{N,2} & \cdots & A_{N,N} & B_{N,1} & B_{N,2} & \cdots & B_{N,N} \\ C_{1,1} & C_{1,2} & \cdots & C_{1,N} & D_{1,1} & D_{1,2} & \cdots & D_{1,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N,1} & C_{N,2} & \cdots & C_{N,N} & D_{N,1} & D_{N,2} & \cdots & D_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{o,1} \\ V_{o,2} \\ \vdots \\ V_{o,N} \\ I_{o,1} \\ \vdots \\ I_{o,N} \end{bmatrix}. \tag{2.10}$$

Usually this matrix is represented by its $N \times N$ sized submatrices $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$ and $\mathbf{D}$:

$$\begin{bmatrix} V_{i,1} \\ V_{i,2} \\ \vdots \\ V_{i,N} \\ I_{i,1} \\ \vdots \\ I_{i,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{o,1} \\ V_{o,2} \\ \vdots \\ V_{o,N} \\ I_{o,1} \\ \vdots \\ I_{o,N} \end{bmatrix}, \tag{2.11}$$

whose components have values $X_{i,j}$ for $X \in \{A, B, C, D\}$ and $i, j \in \{1, \cdots, N\}$ as in (2.10).

Although ABCD parameters can only be properly defined when the number of input and output nodes (voltages and currents) is the same, this multiport representation has multiple advantages:

- The input and output multiport impedance can be found directly. The impedance visible from the input nodes, assuming that output nodes are attached to the diagonal load $\tilde{\mathbf{Z}}_t$ or "grounded" (represented by a zero load matrix), is given with the formula:

$$\mathbf{Z}_i = (\mathbf{A}\tilde{\mathbf{Z}}_t + \mathbf{B})(\mathbf{C}\tilde{\mathbf{Z}}_t + \mathbf{D})^{-1}, \tag{2.12}$$

  while the impedance visible from the multiport output nodes with attached to the diagonal load or "grounded" input nodes is:

$$\mathbf{Z}_o = (\tilde{\mathbf{Z}}_t \times \mathbf{C} - \mathbf{A})^{-1} \times (\tilde{\mathbf{Z}}_t \times \mathbf{D} - \mathbf{B}). \tag{2.13}$$

- There is the unique representation of the each multiport network using ABCD parameters. For instance, ABCD parameters are defined even in cases where the admittance matrix does not exist, e.g., in case of a infinite shunt admittance.

- ABCD parameters operate with voltages and currents and thus, the values inside ABCD matrix have clear physical dimension and "meaning". This cannot be said for H (hybrid) parameters, which is usually used for RF and microelectronics simulations.
- There is a unique relationship between multiport Z, Y, H, S and ABCD multiport parameters [25, 26].

In power systems, the ABCD representation is at the moment not widely used in simulation tools. However, taking in the account that "natural" frequency dependent transmission line model is given using ABCD parameters, the use of ABCD parameters in power system analysis and simulation is becoming a popular topic. Research presented in [12] proposes the use of ABCD parameters for simulation of the power system network containing both overhead lines and cables.

2.2.3 Fast Fourier Transform

Besides an analytical approach, the input or transfer impedance at a specific harmonic frequency can be obtained using a time-domain simulation in an EMT-type tool by injecting a harmonic current at an injection bus k and measuring the resulting voltage at the test bus l. The impedance is obtained by applying the Fast Fourier Transform (FFT) to the voltage measured at the test bus and the current injected at the injection bus:

$$Z_{h,k,l} = \frac{V_l(h)}{I_k(h)}. \tag{2.14}$$

2.3 Harmonic Resonance Mode Analysis

A tool mainly developed for parallel resonance analysis was introduced in 2005 by Wilsun Xu et al [27], and uses eigenvector analysis on the admittance matrix bus to find the modal response of the system. The benefit of using Resonance Mode Analysis (RMA) over a frequency scan of the admittance matrix is that it may provide information on which buses or devices are contributing to certain resonances, which cannot be obtained using a frequency scan.

In RMA, the admittance matrix Y is decomposed into left, L, and right eigenvectors, R, and a diagonal matrix containing the eigenvalues Λ:

$$[Y] = [L][\Lambda][R]. \tag{2.15}$$

Defining $[U_m] = [R]U$ and $[I_m] = [L]I$ as the vectors of voltages and currents in the modal domain gives:

$$[U_m] = [\Lambda]^{-1}[I_m], \tag{2.16}$$

and in full:

$$\begin{bmatrix} U_{m,1} \\ U_{m,2} \\ \vdots \\ U_{m,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2^{-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_N^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m,1} \\ I_{m,2} \\ \vdots \\ I_{m,N} \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

It can be seen from the diagonal matrix that if the modal impedance is equal to zero, i.e., $\lambda_1 = 0$, or approaches a singularity, a small modal current, J_1, would lead to a large modal voltage, U_1. A low value for λ thus can be used to identify a parallel resonance. In [27], the smallest eigenvalue is denoted as the critical mode and its eigenvectors as the critical eigenvectors.

The critical right and left eigenvectors indicate the locational "excitability" and the locational "observability" of the critical mode. For instance, consider the modal current of the first mode as critical mode:

$$I_{m,1} = R_{11}I_1 + R_{12}I_2 + \ldots + R_{1N}I_N. \tag{2.18}$$

It can be seen that the value of R_{1k} determines the contribution of a bus to the first mode. The modal voltage can be distributed over the buses as:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} \\ L_{21} \\ \vdots \\ L_{N1} \end{bmatrix} U_{m,1} + \begin{bmatrix} L_{12} \\ L_{22} \\ \vdots \\ L_{N2} \end{bmatrix} U_{m,2} + \cdots + \begin{bmatrix} L_{1N} \\ L_{2N} \\ \vdots \\ L_{NN} \end{bmatrix} U_{m,N}. \tag{2.19}$$

The contribution of a certain mode m to a certain bus k is thus given by $L_{k,m}$, or in other words, a large value of $L_{k,m}$ implies that mode m can be easily observed at bus k. If mode 1 is the critical mode, the above equation reduces to:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} L_{11} \\ L_{21} \\ \vdots \\ L_{N1} \end{bmatrix} U_{m,1}. \tag{2.20}$$

In [27], it is also noted that the critical mode may not produce harmful behavior, but it is not investigated how the magnitude of the modal impedance may be related to any harmful behavior.

The benefit of using modal analysis is thus in identifying the locational observability and excitability of resonances, which may be done using a participation factor. Participation factors of the bus to the critical mode are defined as $PF_{m,k} = L_{m,k}R_{m,k}$, and these combine observability and excitability. A relationship utilized in [27] is that $[R] = [L]^T$, which leads to two interesting conclusions:

1. The bus where the modal resonance is the most observable is also the bus that contributes the most to the modal resonance.

2. Participation factors are equal to the square of the eigenvectors, meaning that either participation factor or eigenvectors are needed for the analysis. The participation factors may thus be used as an index on how far the resonance will propagate. The bus with the highest participation factor is considered as "center of resonance".

It is important to note that this method may not be used to analyze series resonances. To identify a series resonance, one should define a loop impedance matrix, and analyze the inverse of the eigenvalues of this matrix.

2.4 Voltage Scan

A voltage scan calculates the voltage gain of a voltage measured at bus l to the current injected at bus k. The voltage gain is thus defined by:

$$G(\omega) = \frac{U_l(\omega)}{U_k(\omega)}. \tag{2.21}$$

2.4.1 Matrix Method

The voltage gain may be calculated by considering an injection bus k and test bus l as follows. A voltage is injected at buses k, whereas the other buses are open-circuited:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I_k \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & \cdots & Y_{1,k} & \cdots & Y_{1,l} & \cdots & Y_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{k,1} & \cdots & Y_{k,k} & \cdots & Y_{k,l} & \cdots & Y_{k,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{l,1} & \cdots & Y_{l,k} & \cdots & Y_{l,l} & \cdots & Y_{l,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N,1} & \cdots & Y_{N,k} & \cdots & Y_{N,l} & \cdots & Y_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_k \\ \vdots \\ U_l \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}. \tag{2.22}$$

From the l-th row, we can deduces the relationship between the voltages injected at k and measured at l:

$$G_{k,l}(\omega) = -\frac{Y_{l,k}}{Y_{l,l}}. \tag{2.23}$$

2.4.2 Fast Fourier Transform

Similar to the frequency scan, an FFT can be applied to the voltages obtained using an EMT-simulation, in which a harmonic voltage is injected at bus k and the voltage is measured at bus l.

2.5 Background Harmonic Amplification Calculation

In [10, 28, 18], methods are proposed to calculate the background harmonic amplification due to a grid investment project.

In [10, 28], the way to calculate voltage gains is as follows. The voltage at a certain location and a certain harmonic, $\boldsymbol{U(h)}_{\text{ref}}$ is calculated using the existing grid topology, for a 1A current injection at a certain point. The same voltage is calculated for the grid post-investment, and labelled $\boldsymbol{U(h)}_{\text{post}}$. The voltage gain is then calculated as:

$$G(h) = \frac{U(h)_{\text{post}}}{U(h)_{\text{ref}}}. \tag{2.24}$$

To calculate the expected value of the harmonic voltage, the gain may be multiplied by the voltage measured at that location. In [28], mainly a radial connection is considered, and only 1 current source injection.

The first option mentioned in [18] is to calculate the voltage gain for a voltage injected behind a certain grid impedance. This may be done using, e.g., a voltage scan. This is, e.g., the approach followed in [7]. In [18], it is mentioned that this option is mainly suitable for radial grids.

The second option mentioned in [18] is to calculate the voltage gain similar to , but now using multiple harmonic current injections (at different locations). For each current injection, the voltage at a certain location is calculated (e.g., termed $\boldsymbol{U(h)_{xy}}$, with $\boldsymbol{x}$ the bus at which the voltage is calculated and $\boldsymbol{y}$ the location at which the current is injected). Given that the relative phases of the harmonic current injections are unknown, the summation law as described in IEC 61000-3-6 is used:

$$U(h)_x = \left(\sum_{y=1}^{N} (U(h)_{xy})^{\alpha} \right)^{1/\alpha} \tag{2.25}$$

It should be noted that, if each current source is treated individually, $\boldsymbol{U(h)_{xy} = Z_{xy} I_y}$, or in other words, $\boldsymbol{U(h)_x}$ is a generalized mean of the harmonic impedances of the $\boldsymbol{x}$-th row by the estimated amplitudes of the harmonic current sources $\boldsymbol{I_y}$.

2.6 Implementations in Commercial Software Tools

All references to the calculation methods and models found in software tools are based on [29] and the online help for PSCAD,the DigSilent Manual of 2019 [30], and the SinCal manual of 2016 [31] unless stated otherwise.

2.6.1 DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory offers the possibility to analyze harmonics in the frequency domain, through (i) a harmonic load flow, and (ii) a frequency sweep.

The harmonic load flow calculates the steady-state solution for voltages and currents at a certain frequency, considering harmonic current and voltages sources. Harmonic sources can be defined within certain components. Based on the results, harmonic indices (e.g., total harmonic distortion,...) can be requested as an output.

The frequency sweep calculates the "input" and "transfer" impedances in the frequency domain, as well as the response of any variable to a step or impulse function. The frequency sweep may be done for a balanced or unbalanced network configuration.

2.6.2 PSCAD

PSCAD offers the possibility to analyze harmonics in the frequency or time domain.

The frequency scan tool (Harmonic Impedance Solution/Frequency Scanner) available in PSCAD builds the system admittance matrix based only on the passive elements in the system. It further uses following assumptions:

1. Transformers and surge arresters operate in unsaturated region.
2. Power electronic devices are assumed in their off-state.
3. Machines are represented by a grounded inductor.

4. The 0-sequence impedance of an SVC is represented as the primary-delta leakage reactance of the transformer, and the +/- sequence impedance is represented by the defined shunt loss conductance.

5. The minimum frequency is 1 μHz.

The frequency scan tool is said to only consider passive elements, and not consider effects of controls (if any) [32].

An approach to incorporate control effects was used in [32], where the FFT approach as outlined in Section 2.2.3 was used to obtain the frequency response.

2.6.3 SinCal

SinCal first calculates the admittance matrix based on the inputs. Using this admittance matrix, it calculates the voltages at each node for each frequency, assuming a 1A input current at the so-called reference node k. The resulting impedances $Z_{l,k}$ are found as $\frac{U_l}{I_k}$.

3

Models

Several sources stress the importance of correct modeling of the network and network components. A too conservative approach may lead to overly severe mitigation methods to be applied, whereas a too loose approach may result in unforeseen problems, as mentioned in [21] for harmonic filter design for HVDC applications.

With respect to network models, following must be accounted for [21]:

- Accuracy of network component data
- Limitations of component impedance models in frequency domain
- Variation of component impedances with ambient and system conditions.

The frequency-dependent nature of the component parameters (e.g., transmission line or transformer resistance) must be taken into consideration when performing a harmonic analysis [23]. It it is therefore important to note that data at the fundamental frequency, although in general easily available, may not be sufficient to model components with sufficient accuracy for the whole frequency range of the study. By contrast, the accuracy of frequency-dependent component models must be assessed within the range of the study [21].

In this chapter, the different component models are discussed and modeling guidelines are formulated. In accordance with the project scope, emphasis is put on the modeling of passive components and the topic of modeling power-electronic components is touched upon.

3.1 Transmission Lines

Both cables and overhead lines are being described using Telegrapher's equation or wave propagation equation, whose solution is frequency dependent and especially suitable for the component representation using multiport parameters.

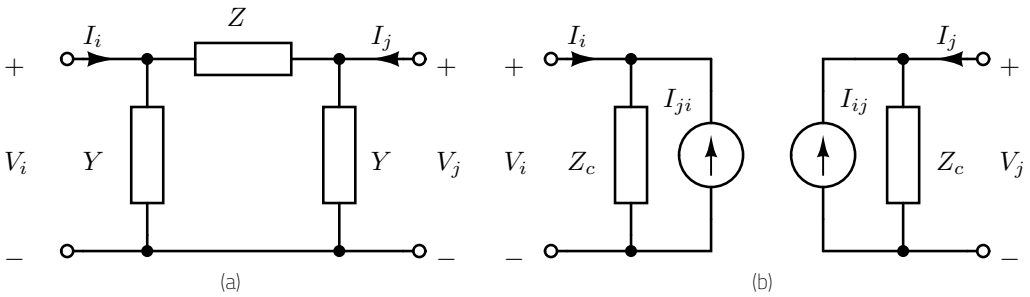


Figure 3.1: Frequency-domain (a) and time-domain (b) model structure.

The voltage and current drop along an infinitesimal short line can be written as [33]:

$$\begin{aligned} \frac{d\boldsymbol{V}(x,\omega)}{dx} &= -\boldsymbol{Z}(\omega)\ \boldsymbol{I}(x,\omega), \\ \frac{d\boldsymbol{I}(x,\omega)}{dx} &= -\boldsymbol{Y}(\omega)\boldsymbol{V}(x,\omega), \end{aligned} \tag{3.1}$$

based on which the wave propagation equation can be written as:

$$\begin{aligned} \frac{d\boldsymbol{V}^2(x,\omega)}{dx^2} &= \boldsymbol{Z}(\omega)\boldsymbol{Y}(\omega)\ \boldsymbol{V}(x,\omega), \\ \frac{d\boldsymbol{I}^2(x,\omega)}{dx^2} &= \boldsymbol{Y}(\omega)\boldsymbol{Z}(\omega)\boldsymbol{I}(x,\omega). \end{aligned} \tag{3.2}$$

(3.3)

In the above equations, the per unit series impedance and shunt admittance are given by $\boldsymbol{Z}(\omega) = \boldsymbol{R}(\omega) + j\omega\boldsymbol{L}(\omega)$ and $\boldsymbol{Y}(\omega) = \boldsymbol{G} + j\omega\boldsymbol{C}$ and are typically frequency-dependent. The voltage and current at a given point $\boldsymbol{x}$ along the line can be written in the format of:

$$\boldsymbol{I}_x(\omega) = e^{-\boldsymbol{\gamma} l}\boldsymbol{I}_f(\omega) + e^{\boldsymbol{\gamma} l}\boldsymbol{I}_b(\omega) \tag{3.4}$$

$$\boldsymbol{V}_x(\omega) = \boldsymbol{Y}_c\left(e^{-\boldsymbol{\gamma} l}\boldsymbol{I}_f(\omega) - e^{\boldsymbol{\gamma} l}\boldsymbol{I}_b(\omega)\right) \tag{3.5}$$

, in which $\boldsymbol{Y}_c = \boldsymbol{Z}^{-1}\sqrt{\boldsymbol{ZY}}$ and $\boldsymbol{\gamma} = \sqrt{\boldsymbol{ZY}}$. This yields a format which is suitable to derive Norton equivalent transmission line circuits which relate input and output voltages and currents in a time domain simulation:

$$\boldsymbol{I}_o(\omega) = \boldsymbol{Y_c}\boldsymbol{V}_o(\omega) - \boldsymbol{H}\left(\boldsymbol{Y}_c\boldsymbol{V}_i(\omega) + \boldsymbol{I}_i(\omega)\right) \tag{3.6}$$

$$\boldsymbol{I}_i(\omega) = \boldsymbol{Y_c}\boldsymbol{V}_i(\omega) - \boldsymbol{H}\left(\boldsymbol{Y}_c\boldsymbol{V}_o(\omega) + \boldsymbol{I}_o(\omega)\right). \tag{3.7}$$

The solution to the transmission line equations can also be written as a relation between input (sending end) and output (receiving end) voltages and currents:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{V}_i \\ \boldsymbol{I}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\boldsymbol{\gamma} l) & (\boldsymbol{Y}_c)^{-1}\sinh(\boldsymbol{\gamma} l) \\ \boldsymbol{Y}_c\sinh(\boldsymbol{\gamma} l) & \cosh(\boldsymbol{\gamma} l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{V}_o \\ \boldsymbol{I}_o \end{bmatrix}, \tag{3.8}$$

yielding a format which is suitable for frequency domain simulations.

3.1.1 Model Types

Relevant information related to modeling of transmission lines may be in Commercial [34, 3, 35]. In general, line models may be categorized in frequency-domain (Fig.) and time-domain models (Fig.).

Frequency-domain Models

Matrix format Depending on the analysis, the frequency domain relationship may be in the format of (3.8), known as the chain matrix, or in an admittance, impedance or hybrid matrix format.

Equivalent PI model Based on (3.8), an equivalent PI model can be derived, in which the series impedance is given by $(Zl)\frac{\sinh\gamma l}{\gamma l}$ and the shunt admittance is given by $(Yl)\frac{\tanh\gamma l/2}{\gamma l/2}$. This circuit representation is an exact representation of the transmission line for a given frequency [34].

Nominal PI model The nominal PI model is a single frequency representation of the equivalent PI model. The validity of the approximation depends on the frequencies of interest.

Cascaded PI model The cascaded PI-model approximates the hyperbolic part of the frequency dependence of the series and shunt admittance of the equivalent PI-model. Increasing the number of cascaded sections may increase the model accuracy compared with the nominal PI-model. However, this model has limits as the frequency-dependence is only partly taken into account [34].

Time-domain Models

PI-models The nominal and cascaded PI model as described above may be implemented for time-domain simulations. As these models provide none to limited frequency-dependency, behavior may be incorrect for time-domain simulations.

Bergeron model The Bergeron model is a time-domain single-frequency distributed parameter model. It represents the transmission line by a lossless characteristic impedance and a single propagation constant. The propagation constant relates the traveling waves at the sending end to the receiving end. The Bergeron model may take into account losses by means of lumped resistances [34].

Marti The JMarti (or frequency-dependent mode model, FD-line model) is a time-domain frequency-dependent distributed parameters model [36]. It uses a real and constant (frequency-independent) modal transformation applied to the propagation constant $e^{\gamma l}$ and the characteristic admittance Y_c, to obtain their counterparts in the modal domain. These values in the modal domain may be synthesized using RC circuits or are fitted using rational functions, such that convolutions in the time domain may be efficiently carried out. In a time domain simulation, all phase-domain values are thus first transformed to the modal domain, then the line model is executed, and modal domain values are converted back into the phase domain. This model is accurate only for geometrically balanced transmission lines [29]. An extension is the LMarti model or FDQ model, which uses frequency-dependent modal transformation matrices.

ULM The universal line model (or frequency-dependent phase model) is a time-domain frequency-dependent distributed parameters model [37]. It uses rational fitting applied directly to the propagation constant and characteristic admittance in the phase domain. The sole loss of accuracy in this model hence lies in the rational fitting. This type of model thus retains accuracy even for unbalanced transmission line configurations. This model is today's model of choice in commercial EMT-type tools.

3.1.2 Overhead lines

The series impedance and shunt admittance of overhead lines are calculated by line constants routines based on the tower geometry and material parameters of the conductors and the earth. The overhead line (OHL) configuration and calculation of the parameters are described in detail in [33, 29].

Modeling Guidelines

Transmission line modeling guidelines are summed in the CIGRE WG brochures [38, 23] and in the standard IEC TR 60071-4 [39]. This section summarizes the findings in these references, based on the structure provided in [23].

Transmission line model In frequency domain studies, as the model does not provide a lot of overhead, the frequency-dependent models) should always be preferred whenever data is easily available. In remote parts of the system, or at voltage levels lower than the one of interest, a nominal PI model may also provide sufficient accuracy [15, 40].

Skin effect According to [23], skin effect should always be modeled for harmonic studies. The skin effect may be incorporated by equations based on Bessel functions [33] or by approximations as given in [23]. Neglecting skin effect may lead to underestimation of damping in the higher frequency regions, and as such, at resonant frequencies.

Earth resistivity A common practice is to neglect variations of earth resistivity with depth, as to simplify calculations. However, this may introduce errors (especially in the zero-sequence or ground return mode), of which one should be aware. For long circuits, different earth conditions along the line length may be considered.

Distributed Parameter effects Distributed parameter effects should be taken into account except for the shortest lines and for overhead lines remote from the area of interest. The guideline given in [IEEE Task Force] states that lumped parameters may only be used up to 240/h km, where h is the harmonic order of interest (and the fundamental frequency is).

Average conductor height OHL conductor average high shows to have small impact of the harmonic circuit impedance [23].

Single- or multiphase models Normative references suggest using multi-phase models whenever there is any asymmetry in the construction of the transmission line.

Models in Commercial Software

PSCAD offers multiple transmission line models, of which the *nominal PI-model, the Bergeron model and the frequency-dependent mode and phase models*. It offers a very modular overhead line model. From the geometry point of view, a different tower organizations are provided, denoted as: flat (horizontal as a flat without ground wires), vertical, delta (for lines with at least three phases), offset (at least three phases), concentric (at least three phases). Conductors can be bundled with both symmetric and asymmetric subconductor positioning. Computationally, both solutions with Bessel function and a variety of the approximations are provided [29].

DigSilent PowerFactory DigSilent PowerFactory offers (i) distributed parameters (*equivalent pi-model*) or lumped parameter models (*nominal pi-model*), (ii) frequency-dependent and frequency-independent models and (iii) offers the possibility to model multiple parallel circuits, with or without mutual impedances.

SinCal offers lumped (*nominal pi*) and distributed parameter (*equivalent pi*) models. The inputs may be given as frequency-independent zero-sequence and positive-sequence series impedances and shunt admittances.

3.1.3 Cables

The series impedance and shunt admittance of cables are calculated by cable constants routines using the cable cross-section, cable laying configuration and material parameters of the conductors, insulators and the earth [3].

Cables can be single-core or multi-core, and can be buried directly underground or pipe-type enclosed.

Modeling Guidelines

Transmission line model In frequency domain studies, frequency-dependent models should always be preferred whenever data is easily available. In remote parts of the system, or at voltage levels lower than the one of interest, a nominal PI model may also provide sufficient accuracy [15, 40].

Skin Effect As for overhead lines, skin effect should be modeled for harmonic studies. Skin effect can be included by equations based on Bessel functions [33].

Proximity Effect Proximity effect should be considered only when cable conductors are in close proximity, e.g., in multi-core cables or in cables which are buried with short inter-core distances. Both proximity and skin effect can be critically important since they can lead to large reduction in resonant peaks [41].

Cable Design Characteristics The cable geometry and material parameters of the conducting and insulating layers should be represented as detailed as possible. As the models may not include all cable characteristics in detail, conversion formulas such as the ones introduced in [33] may be used.

Cable Layout The cable layout, e.g., burial in trefoil or flat formation, should be carefully modeled as it impacts the frequency and magnitude of the resonances, and the number of resonances. It also determines whether the cable system is balanced or not.

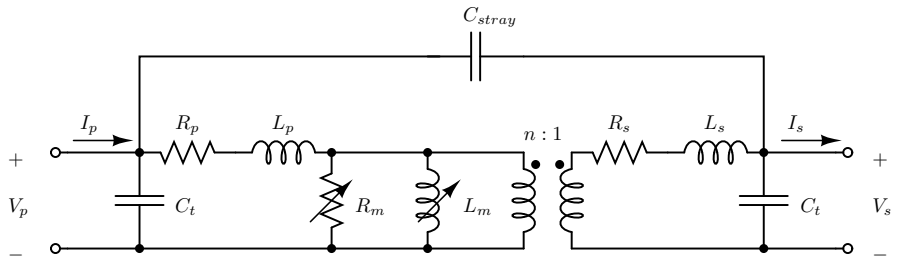


Figure 3.2: Single phase equivalent transformer model (T-model).

Sheath bonding Sheath bonding affects the resonance behavior of the cable and should be modeled in detail. The impedance of the sheath wires may effect the magnitude of the resonance frequencies.

Distributed Parameter Effects As for overhead lines, the cable model should be selected depending on the study requirements. The nominal PI model can be used for shorter cables, while for the cables longer than 2-5 km the distributed parameters model should be used .

Availability in Software

PSCAD offers frequency-dependent cable models (*phase or mode*)) with both pipe-type and coaxial group configurations. It provides a few algorithms with different accuracy levels for performing calculations. It allows for modeling sheath bonding in detail, or to use "ideal" sheath bonding. The latter option is an approximation and may lead to shifts in the resonance behavior of the cable. It should be noted that the phase model should always be preferred over the mode model, due to the significant frequency-dependency of the transformation matrices.

DigSilent PowerFactory offers a frequency-dependent cable model (*equivalent pi*) with up to three single core cables (each up to three conducting layers). Cables can be modeled as directly buried or as pipe-type cables.

It supports calculations of the cable parameters using modified Bessel functions. The ULM model of the cable is fitted before performing the EMT simulation. Supported are procedures for the estimation of the characteristic impedance Z_c approximation. The propagation function can be fitted approximately or using modal-domain or phase-domain fitting.

SinCal offers lumped (*nominal pi*) and distributed (*equivalent pi*) parameter models. The inputs may be given as frequency-independent zero-sequence and positive-sequence series impedances and shunt admittances.

3.2 Transformers

3.2.1 Model Types

Transformers are modeled in several ways. The ones described here are the classical, simplified and Unified Magnetic Equivalent Circuit (UMEC) model [12, 29].

Classical Model

The classical model of a transformer employs ideal transformer or its T-transformer representation. Depending on the core and winding design, the current-flux dependence of the core exhibits saturation effect. Saturation in the case of classical transformer representation is modeled either as a varying inductance across the winding, or with a compensating current source across the winding closer to the core [29].

The commonly used model suggested in CIGRE brochure [23] is depicted in Fig. 3.2. The transformer from Fig. 3.2 represents single phase two-winding transformer model. The same model is considered in the various publications of the interest [12, 32].

Simplified Model

The common simplified transformer representations consist of the series transformer equivalent, which is defined using rated power, leakage inductance and losses. Fig. 3.3 shows the two most commonly used models.

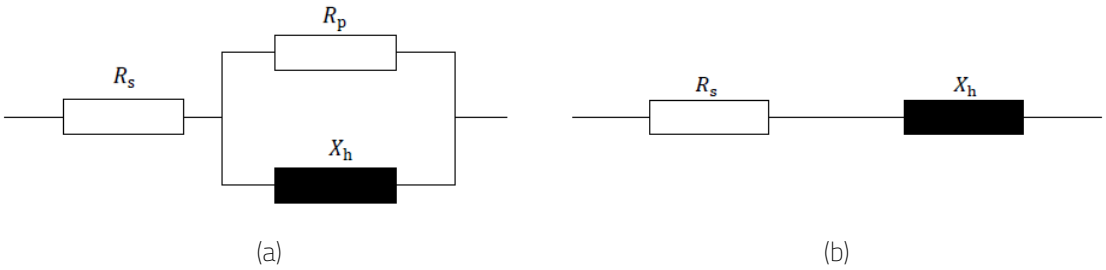


Figure 3.3: Common power transformer models: (a) from [42, 23]; (b) from [44, 43, 45].

Resistance R_s is a series resistance, X_h is determined as a frequency dependent under assumption that leakage inductance L_σ is constant over the range of frequencies [42, 43, 44]:

$$X_h = 2\pi h f_n L_\sigma. \tag{3.9}$$

The resistance is modeled differently depending on the recommended literature. Work [42] suggests $R_s = \frac{X_h}{h\tan(\phi)}$, $R_p = 10\frac{X_h}{h}\tan(\phi)$ and $\phi = \exp(0.693 + 0.796\ln S_r - 0.0421(\ln S_r)^2)$. A DC resistance is necessary for the model in [44], where $R_s = R_{DC}\,(1 + Ah^B)$m, with recommended values $A = 0.1$ and $B = 1.5$. The model from [2] takes short circuit resistance R_t and accounts for the skin effect: $R_s = R_t\ (a_0 + a_1 h^b + a_2 h^2)$, for the condition $a_0 + a_1 + a_2 = 1$. All of these models provide high accuracy, taken into account that they are developed for the purpose of modeling a particular transformer, i.e., the validity of these formulas needs to be checked against measurements for each transformer. They show that the reactance can be modeled as linearly increasing with the frequency [23].

This type of model may be expanded to a multi-winding transformer, e.g., a three-winding transformer. As an example, the positive and negative, and zero sequence impedance of an autotransformer with YNa0(d) configuration is shown in Fig 3.4. In Fig. 3.4, H, X and Y refer to the high-voltage, low-voltage and tertiary voltage side respectively. The per unit leakage impedances may be obtained from the per unit leakage impedances Z_{HX}, Z_{HY} and Z_{XY}, as obtained using the short-circuit test, and impedance to ground Z_g as [46]:

$$\begin{bmatrix} Z_X \\ Z_Y \\ Z_H \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_{HX} \\ Z_{HY} \\ Z_{XY} \end{bmatrix}, \text{ and} \tag{3.10}$$

$$\begin{bmatrix} Z_{X0} \\ Z_{Y0} \\ Z_{n0} \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & \frac{n-1}{n} \\ 1 & 1 & -1 & -\frac{n-1}{n^2} \\ -1 & 1 & 1 & \frac{1}{n} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_{HX} \\ Z_{HY} \\ Z_{XY} \\ 6Z_g \end{bmatrix}, \tag{3.11}$$

where n is the winding transformation ratio. The phase (or physical) domain model may be derived from these sequence impedances using the Fortescue transform.

UMEC Model

UMEC model describes inductive couplings according to physical configuration of the transformer magnetic core [12]. This model is represented with reluctance $\mathscr{R}$, magnetic flux ϕ and magnetomotive force. This model treats core saturation differently using piecewise-linear technique [29].

3.2.2 Modeling Guidelines

Transformer model The simplified model is the model of choice for the resonance analyses in [23]. More elaborate models, e.g., the one introduced in [12], may be used when the frequency of interest shifts towards a higher frequency region.

Transformer stray capacitance The transformer stray capacitances should be included in the studies above $3-4$ kHz [23, 32, 12].

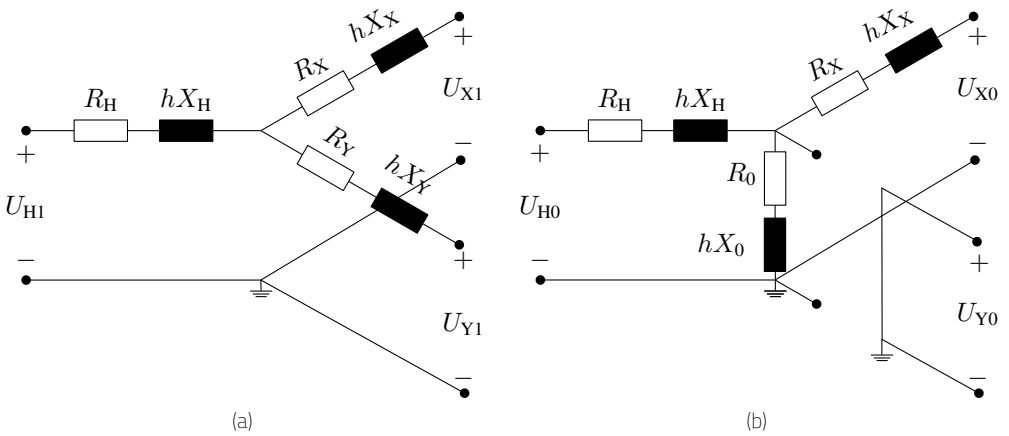


Figure 3.4: Three-winding transformer model for autotransformer with YNa0(d) configuration in positive and negative sequence (a) and zero sequence (b).

Transformer magnetizing impedance The magnetizing impedance (R_m and L_m) can be ignored in the normal conditions. However, if the saturation of the transformer becomes of the primary interest, then the effect can be captured using current source in the place of R_m and L_m, which should be carefully designed from the current-flux curve [23]. IEEE std. 519 [20] says that if the transformer is not a significant source of harmonics, the magnetizing impedance can be neglected.

Transformer tap position The tap position affects the leakage reactance and the transfer impedance to the other side of the transformer. The leakage resistance variation can produce the phase shifts in resonant frequency. It is recommended to capture the tap changes in the harmonic studies [23].

Transformer Losses There are two major resistances: losses inside the conductor (C_u core losses) and losses inside magnetic core (F_e-loss resistance). Although the transformer's resistance varies with the frequency, formulas to take this into account should not be applied without verification against transformer measurements [21]. In case no measurements are available, the resistance at power-frequency can be used first. In a second step, the sensitivity of the resonance towards transformer resistance can be analyzed by calculating the harmonic resonances using a frequency-dependent resistance according to one of the formulas introduced in [21]. Temperature variation has an impact on the resistance of the transformer. However, this impact is estimated as low and thus, less concern in the modeling [21].

Transformer Vector Group The vector group of the transformer windings influences the resonance behavior and should be taken into account in the model.

3.2.3 Models in Commercial Software

PSCAD

PSCAD supports both *classical* and *UMEC* transformer model with different winding configurations and saturation models. Frequency-dependency of the parameters is not considered. In the standard auto-transformer model, copper losses are not included. Stray capacitances are not supported in the standard models.

DigSilent PowerFactory

Transformers are modeled as the *classical* T-equivalent circuit for the positive and zero sequence from the vector group, transformer ratio and the quantities computed from the open-circuit and short-circuit measurements [47]. Stray capacitances as shown in Fig. 3.2 can be added, as well as a frequency-dependent zero sequence impedance. Three-winding transformers are also supported.

SinCal

In SinCal, two-winding transformers are modeled as pi-equivalent networks, where the series impedance is the short-circuit impedance and the no-load losses are distributed over the shunt admittances. Frequency-dependency of the parameters can be included, e.g., according to CIGRE models described in [42]. Three-winding transformers are also supported.

3.3 Synchronous Machines

3.3.1 Model Types

In general, the literature indicates that synchronous machines should be modeled by a series circuit of a resistance and reactance, adjusted to the harmonic order h (or n).

In [42], it is recommended to model the synchronous machines by their subtransient reactance $X"_d$ and a series resistance R_1 equal to $0.1X'_{d'}$. The reactance and resistances increase with the harmonic order n as:

$$X(n) = nX"_d \tag{3.12}$$

$$R(n) = \sqrt{n}R_1. \tag{3.13}$$

These equations should be applied with care, as this model may not always be applicable, as shown on p 2-32 in [21]. Especially with respect to the resistance, the model may become very inaccurate.

In [20, 48], it is recommended to represent machines by a reactance which is equal to half the sum of the subtransient reactance of the direct- and quadrature axis or the negative sequence reactance. The harmonic impedance increases with the harmonic order:

$$X(n) = nX_2, \text{ or} \tag{3.14}$$

$$X(n) = n\frac{X"_d + X"_q}{2}, \tag{3.15}$$

Alternative approaches have been suggested, e.g., to use a resistance variation proportional to n^{α}, with α in the range of 0.5-1.5 [49].

3.3.2 Modeling Guidelines

Model Type The synchronous machine may be represented by a series of a resistance and a reactance.

Reactances IEEE Std 519-1992 [20] recommends to model machines by their subtransient reactances, taking the average of the direct and quadrature axis. Reactances should be modeled by the order of the harmonic frequencies. This is repeated in IEEE Std 3002-2018 [48], where also the resistance according to (3.13) is recommended.

Frequency-dependency of resistance With respect to frequency variation, brochure [21] recommends asking manufacturers for detailed information whenever a large generator is close to the point of interest. Although the modeling method for frequency dependency of the parameters stated above is a simplification, it is widely accepted due to sparsely available machine data and difficulties to include more detailed models in existing software.

3.3.3 Models in Commercial Software

DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory offers the synchronous machine model ElmSym, in which the machine is represented by a reactance and a resistance. In a frequency sweep, it is represented by an impedance model with frequency-dependent impedance characteristics. The inductance at fundamental frequency is calculated as the average of the d and q components of the subtransient inductance. The inductance changes with the harmonic order as in (3.12). Furthermore, a frequency-dependent characteristic may be given to the inductance and resistance.

PSCAD

The synchronous machine model incorporates mechanical as well as electrical parts. It does not offer frequency-dependency of its electrical circuit parameters.

SinCal

For SinCal, there was no description of a standard model for synchronous machines.

3.4 Shunt Compensation - Reactors

Reactors are used to absorb the excess reactive power, e.g., generated by cables.

In [21], it is recommended to collect detailed data for those shunt elements in the network that are relevant to the study (especially those connected close to the point of interest. In this respect, inrush/outrush current limiters of capacitor banks (if any) may be important to model, as well as the resistive losses of any shunt reactors in the model.

3.4.1 Model Types

Saturable Inductor With Fixed Losses

In [50], shunt reactors have been modeled as a saturable inductor with a parallel and series resistance (with a fixed value) representing iron and copper losses, respectively. It should be noted that in a frequency assessment, saturation cannot be included given that this leads to non-linear behavior.

Equivalent circuit with Inductances, Resistances and Capacitances

In [12], an equivalent circuit diagram with inductances and resistances, and inter-layer and layer cross-over capacitances is proposed. The model without capacitances (purely inductive) was found to be accurate until 3 kHz, whereas the model with capacitances is accurate until 10 kHz. Frequency-dependence of the resistance was not included, and the models were found to provide slightly less damping compared to the measurement results [12].

3.4.2 Modeling Guidelines

Model Type In the simplest case, shunt reactors can be represented by their inductance. In case of reactors close to the point of interest, losses can be represented by a resistance put in series with the inductance.

Capacitive effects In the low frequency range (e.g., < 3 kHz according to [12]), reactors can be modeled as an inductive element, whereas in the high-frequency range, capacitive effects must be considered. If auxiliary elements are present, these should be modeled as well. In [39], it is stated that shunt reactors behave as inductors within the frequency ranges for TOV, and that capacitances do not need to be considered. It is also stated that saturation of the magnetization inductance, residual flux and losses play an important role in the generation and damping of temporary overvoltages.

Resistive losses Losses should be included if data is available, albeit that at low frequencies a single-frequency model may be sufficient. With respect to the resistive losses, [6] states that these have only a minor impact on resonances but have a significant effect during cable energization, discharge and zero-miss.

3.4.3 Models in Commercial Software

DigSilent PowerFactory

The Shunt element (ElmShunt) in DigSilent PowerFactory offers the possibility to model an RL, RC or RLC-shunt. The element can be configured in various ways (connections). For harmonic analysis, a frequency-dependent characteristic may be given to the RLC parameters. The Shunt element does not take into account capacitances except for a capacitance to ground in certain configurations.

PSCAD

Besides basic components (such as inductors and resistances), a model for a shunt device is not available in the PSCAD library and should be user-created.

SinCal

Shunt reactors can be modeled in SinCal using Inductive Shunt Branches.

3.5 Passive Loads

Loads play an important role within harmonic analysis. Depending on their type, they may (e.g., resistive loads) or may not (e.g., inductive loads) provide damping for a certain harmonic frequency. CIGRE WG B4.47 [21] claims that although data on loads may be difficult to obtain, it is incorrect to assume that, in the absence of load data, a conservative or safe assessment of network harmonics is done. When neglecting load, the damping may decrease as expected, but the network resonant frequencies especially of low order harmonics may shift as well. IEEE Std. 519 [20] describes the load model as one of the most important elements in the transmission system representation.

Although loads play an important role, the literature in general points out that there is no "universal and generic harmonic load model" [21, 42, 45]. Two points which pose particular challenges for modeling the load are:

1. The extent of modeling detail with respect to voltage levels below the voltage level of the system under study will determine what is considered as "load" and hence also the load model. If a substantial part of the "lower-level" network is modeled, for a harmonic impedance study of the EHV network, "the frequency response at a given bus is not significantly affected by the model of the loads at lower voltage levels" [40].

2. The rationale behind several load models from older sources has been lost over time, making that it is not possible to verify the correctness of these [21].

According to CIGRE TB 766, loads are categorized into linear loads and non-linear loads. The linear loads consist of a static part and a rotating part. The static part can be modeled fairly accurate according to parameters calculated at fundamental frequency, whereas the rotating parts cannot. Nonlinear loads are often associated with power-electronic loads, and the brochure mentions challenges to model these correctly.

In transmission studies, loads may be aggregated according to a bottom-up approach or a top-down approach. In the bottom-up approach, an aggregate model is the result of lumping together detailed component models. In the top-down approach, a load model is derived based on its behavior, e.g., through measurements.

The aim of this section is not to provide an exhaustive overview of harmonic load models, but rather point out options in the literature and the implications they have. A detailed comparison of load models is given in CIGRE TB 766 [23].

3.5.1 Model Types

The types of load model depends on the transmission level at which the load is modeled: EHV, HV, MV or LV.

Low-level Linear Harmonic Models

Low-level linear harmonic load models typically consists of an arrangement of resistances and reactances to model the static and rotating part of the load. A review of the load models considered over time by CIGRE and IEEE is given in CIGRE TB 766 [23]. In general, the static part is modeled by a parallel or series RX-circuit, where the circuit parameters are determined based on the fundamental frequency power flow. The rotating part is also modeled using a parallel or series RX-circuit, where the parameters are usually frequency dependent. For the rotating part, it is recommended not to use parameters based on the fundamental frequency power flow, but using a subtransient reactance and a resistive equivalent using its losses [21]. Several (empirical) formulae for the R and X part have been posed also based on measurements, but the rationale behind these may have been lost over time [21].

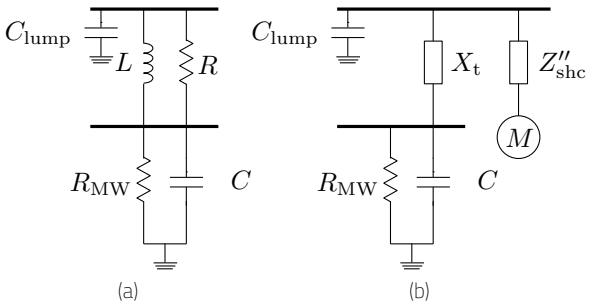


Figure 3.5: Lumped Equivalent Load Network of National Grid (a) and Scottish Power (b) [21]

Load modeling comparisons in the literature

In a first approach [51], the load at the transmission level is modeled as an equivalent RL or RC circuit, placed at the secondary side of the transformers between the primary network (network under study) and the secondary network (lower voltage levels). The parameters for the RL- or RC-circuit are obtained from a loadflow at the secondary side of the transformer. The parameters are frequency-independent.

In [47] and [51], the harmonic impedances seen at the primary and secondary side are compared for a simplified circuit and a full circuit. The comparison shows that:

- The simplified equivalent circuits produce more damping at the first resonance peak compared to detailed modeling at the secondary side.
- A frequency shift is observed at the first resonance peak.
- For larger frequencies, larger differences are observed, e.g., some resonance peaks are not present for the simplified circuit.

[6] discusses that a series RL circuit provides less damping compared to a parallel RL circuit, and hence may lead to a more conservative assessment.

Lumped Equivalent Load Networks

In [21, 23], two transmission level aggregated equivalent load networks as used by National Grid and Scottish Power are introduced for a harmonic load analysis (Fig. 3.5). In Fig. 3.5, the model includes a lumped capacitance (C_{cap}), representing the total cable capacitance at bus L1, a lumped transformer reactance along with a damping resistance R, representing all transformers connected between L1 and the LV system and the customers connected at LV. The LV bus is represented by a resistive load and a capacitance to represent PF correction. . Motors can be put in parallel with the resistive loads, and are modeled using a series impedance of its subtransient reactance and a resistance equivalent to its losses. The model by Scottish Power is similar to the one by National Grid, but parameters are calculated in a different manner. It is important to note that all parameters depend on the load composition, level of load and distribution system parameters.

3.5.2 Modeling Guidelines

Loads are said to have an important damping effect, even at low load levels. In [21, 23], it is found that neglecting load may lead to over-conservative results.

Based on the literature, following guidelines are compiled:

1. Based on the literature, at least the primary system should be modeled in complete detail, and attention should be paid to the secondary system. The type of transmission lines in the secondary system was found to have an influence on the resonance peaks [51].
2. Equivalent loads placed at the secondary of the downstream network: RL-circuits of different types in general lead to similar results, whereas a lumped equivalent load network shows more resonant peaks as in this case, capacitances are also modeled [23]. However, in the latter case, the occurrence of these resonance peaks should be verified by measurements.
3. Equivalent circuits placed two networks downstream: the load equivalent does not have a significant influence on the resonance peaks observed in the primary system [23].

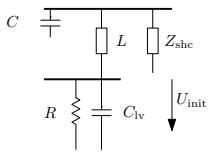


Figure 3.6: Load Impedance 2 model in DigSilent

4. If detailed and accurate information on the load composition is available, we recommend to model these in detail.
5. Using RL or RC circuits directly attached to the secondary of the transformers connected to the primary system (e.g., when speeding up simulations), may provide satisfactory results in a first assessment, but should be used with care, as damping may be overestimated, resonance frequencies may have shifted and certain resonance peaks may not be seen [15].

3.5.3 Models in Commercial Software

DigSilent PowerFactory

In DigSilent PowerFactory, models for a "General Load", "Complex Load", "Medium Voltage Load", "Low Voltage Load" and "Partial Load" are available.

The "General Load Model" comes in three different options:

- The impedance Model 1 can model loads as a series connection of an inductance and resistance or as a parallel connection of an inductance and a capacitance. The RL or RC parameters are frequency independent and calculated from a preceding load flow.
- The impedance Model 2 models loads in a similar structure as the SP lumped equivalent load network (Fig. 3.6). The transformer is modeled by its leakage resistance only.
- The current source model models the load as a constant current source, for which the currents are calculated based on a load flow.

The "Complex Load Model" is a combination of a static load and an induction motor. The static part is a parallel RX-circuit with voltage dependent parameters. The dynamic part is a simplified asynchronous motor model. For this type, the parameters may be frequency-dependent.

The "Medium Voltage Load" is an impedance model behind a transformer. The transformer is modeled by its series impedance. The load is an series RL, parallel RC or combined RL circuit with a parallel capacitor.

The "Low Voltage Load" is represented as an RX-equivalent circuit, impedance which is either inductive or capacitive. The inductive circuit is a series circuit, whereas the capacitive circuit is a parallel circuit.

PSCAD

PSCAD offers the possibility to implement loads as (i) a combination of standard R, L and C components, (ii) a "fixed load" model and (iii) a frequency-dependent network equivalent.

In a harmonic analysis, the "fixed load" model is represented by a parallel RL or RC-circuit calculated at the fundamental frequency. The "fixed load" model in PSCAD is offered as a voltage and frequency-dependent load model, having P and Q in the form of

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0}^{NP} \right) (1 + K_{PF} dF) \tag{3.16}$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0}^{NQ} \right) (1 + K_{QF} dF) . \tag{3.17}$$

(3.18)

However, a comparison of a frequency scan of a load model with a frequency scan of an RL-circuit with R and L calculated at fundamental frequency gives the same results.

The frequency dependent network equivalent component is a multi-port component which may represent an equivalent load circuit as described above. The component approximates the input parameters with rational function, using Vector Fitting. The input parameters may be given in many forms, including a frequency scan or network parameters (e.g., impedance, admittance, scattering).

SinCal

SinCal offers the possibility to include the CIGRE WG 36.05 load model with the parallel RX and X branch (France EDF model).

3.6 Frequency-Dependent Resistance

Skin-effect causes the resistance of several components (transformers, generators, shunt reactors) to change with frequency. In the literature, various approaches have been proposed. A common approach is to use [21]:

$$R_h = R_0 n^{\alpha}, \tag{3.19}$$

in which R_h and R_0 are the resistance at order n and 0, and α depends on the network component to be modeled (e.g., 0.5-1.5 for the synchronous generator model).

Alternative approaches have been suggested, as (3.19) may overestimate damping at low orders and underestimate damping at high orders [21]. It should be noted that all approaches should be applied only within the frequency range for which they are valid.

3.6.1 Models in Commercial Software

DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory offers the use of three methods for including frequency-dependency of resistance (or even inductance and capacitance). Either a polynomial (ChaPol) or a user-defined table (TriFreq and ChaVec) may be used.

The polynomial characteristic $y(f_h)$ is a multiplicator for the fundamental frequency resistance:

$$y(f_h) = (1 - a) + a\left(\frac{f_h}{f_1}\right)^b, \tag{3.20}$$

in which f_h and f_1 are the harmonic and fundamental frequency, respectively, and a and b are user-definable.

The frequency-dependent characteristic may be applied to, e.g., line elements, machine elements (Synchronous, Asynchronous), shunt filters, voltage sources, complex load, transformer elements.

PSCAD

PSCAD does not seem to offer standard routines for including frequency-dependent resistances, except for the frequency-dependent network equivalent.

SinCal

SinCal offers four options for setting frequency-dependent behavior; (i) no frequency dependency, (ii) R constant, (iii) X/R constant and (iv) impedance characteristics.

3.7 Active Components (Power-Electronic)

According to [23], the recent proliferation of converter-based devices implies the need to account for both harmonic emissions and harmonic impedances when modeling active components for harmonic or resonance studies. The generic model structures are the Thévenin or Norton equivalent circuits. Consequently, these models consist of a **harmonic voltage or current source** and of a **harmonic impedance or admittance**. It should be noted that these representations have limitations as they are linear representations of devices which normally present a nonlinear behavior and whose characteristic may actively change with the level of harmonics. In particular, active components introduce couplings that may require representation by the equivalent circuit:

- The coupling between sequences can be represented by means of an impedance/admittance matrix with sequence coupling terms;
- The coupling between components of different frequencies can be represented by a harmonic domain model.

The resulting harmonic impedance/admittance should account for both:

- the passive elements that connect the active component to its network (LCL filter, power transformer, etc.);
- the control loops (inner control loops, outer control loops, active filter, etc.).

Both aspects influence the harmonic behaviour of the component. It is also mentioned in [23] that further work will be required to develop robust methods to adapt the frequency domain harmonic model to the selected control strategy and to the operating point of the component.

Converter-based Wind Generation

The above considerations hold for the modeling of converter-based wind generation. Converter harmonic impedance and filters should be included when modeling type 3 and type 4 WTGs. Therefore, the use of Thévenin/Norton equivalents is recommended instead of the constant current source approach. Detailed WTG models capturing these elements should be requested from vendors to improve accuracy in harmonic studies involving wind farms.

The harmonic emission profile of WTGs is a function of the operating point. The worst-case operating point at each harmonic order is often used to yield a conservative result, although it is also possible to implement look-up tables to represent the harmonic behaviour at different operating points.

The equivalent harmonic impedance is the total converter output impedance which should include the impact of closed-loop controls. Any other passive component (such as the main reactor impedance, passive filters and turbine transformers) must be captured either as part of the equivalent harmonic impedance or explicitly as an external component.

HVDC Converters

Line Commutated Converter (LCC) In the first instance, LCC HVDC converters are often regarded as harmonic current sources, for which the harmonic current emission does not vary with the AC side impedance. Although this simplification gives approximately correct results at high harmonic orders, it can be unsatisfactory for low orders, particularly for the 3rd harmonic. Therefore, a more complete model is necessary for such low order harmonics:

Reactive power compensation devices (switchable filters and/or capacitors) must be modeled as they will interact with the harmonic impedance of the grid. It is recommended to analyse a range of operating points and status of filters and capacitor banks to ensure that they do not introduce excessive resonances or harmonic distortion in the grid.

Voltage Source Converter (VSC) As the harmonic generation of VSC HVDC stations is typically very low, it is normally sufficient to calculate a non-consistent set of maximum harmonic voltages over the complete range of operation of the converter, and use this as the modeled harmonic generation, represented as a voltage source behind the converter internal harmonic impedance.

The converter harmonic impedance must include the passive components (power transformer and any filtering) as well as the internal impedance of the converter.

Flexible AC Transmission System

Flexible AC Transmission System (FACTS) devices generate harmonics depending on their configuration, control strategy and switching scheme. They must be adequately modeled for harmonic/resonance studies. Modeling recommendations are discussed below for Static Var Compensators (SVCs) and STATCOMs, which are the two most common LCC-based and VSC-based FACTS devices.

Static Var Compensators In practice, SVC configurations vary from one project to the next, but may generally contain a thyristor-controlled reactor (TCR), a thyristor-switched capacitor (TSC), LV and/or HV AC filters and a transformer. The harmonic emission spectrum of SVCs is related to thyristor-based converter topology. In this technology, harmonics are generated due to the non-linear nature of the thyristor switches. Moreover, the harmonic emission spectrum depends on the operating point of the device.

Modeling recommendations are to represent the TCR as a harmonic current source with its harmonic impedance, while the other components are represented by their harmonic impedance. To account for the dependency on the operating point of the device, the harmonic source emissions and the harmonic impedances must be determined for all possible configurations of the SVC (with the TSC on or off, with different firing angles, etc.).

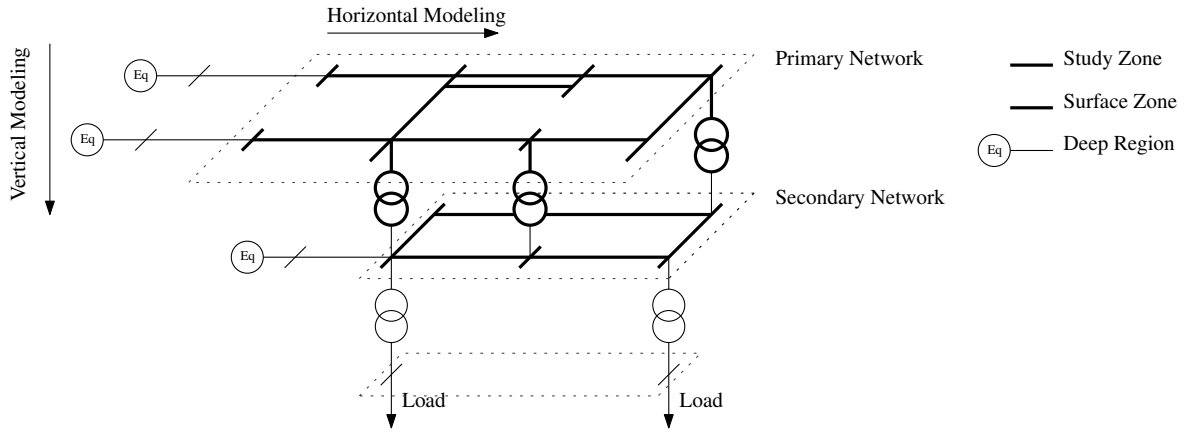


Figure 3.7: Network modeling level detail

STATCOMs The harmonics generated by STATCOMs are typically of very low magnitude. They depend on the operating point and are project/solution specific.

Modeling recommendations are to represent the STATCOM by means of an active harmonic voltage source behind the converter internal harmonic impedance. Given the low magnitude of the generated harmonics, it is normally sufficient to calculate a non-consistent set of maximum harmonic voltages over the complete range of operation of the converter.

The harmonic impedance model must include not only the passive components of the STATCOM (e.g. harmonic filter, series reactor, step-up transformer) but also the VSC internal impedance defined by the operational mode, the controller transfer functions and its corresponding parameters. The harmonic impedance is operating-point dependent in the low frequency range (within the bandwidth of the converter inner current control loop).

3.8 Network Modeling Detail and Network Equivalents

There are not a lot of general rules to define the extent of the network that is to be modeled in detail, and network reduction mainly comes from engineering judgement. According to [23], full-scale system models in frequency domain are used by the French, Danish, Irish and British TSOs for their harmonic studies. To partition the network into a main study system and external interconnected systems, sensitivity methods described in [52] can be employed as an analytical tool. Such sensitivity studies are also recommended in [22], which suggests to perform such studies by progressively extending the horizontal and vertical distance (see Fig. 3.7) of the detailed modeling until the frequency response of the network (e.g. of the driving-poin impedance at the point of interest) does not change in a significant manner, while giving priority to electrical components with high capacitive parts, e.g. cables.

Two possibilities exist to approach network modeling [15]:

1. Top-down approach: In this approach, a detailed reference network is modeled first. Reduced networks are constructed based on simplifications in the reference network and their accuracy is validated against the reference network.

2. Bottom-up approach: In this approach, a small portion of the network to be investigated is first modeled (e.g., up to two or three buses from the point of interest). Then, model detail is added until certain performance criteria (e.g. the impedance spectrum) do no longer change significantly.

3.8.1 Network Level Detail on the Same Voltage Level

For high-voltage levels, the existing literature recommends to model accurately at least the entire primary network [45]. The level of detail of components in fact depends on: (i) relative position of component with respect to the bus of interest and (ii) relative sizes of the components [45]. The recommendation of accurately representing the primary network stems from the low electrical distances found at high voltage levels. A study done by RTE [10] confirms this, as only the complete model of the 400 kV model provided the most accurate results. Other studies conducted in EMTP-RV by the French TSO RTE on a full-scale model of the French transmission system show that using reduced models that model the network up to 1, 2 or 3 nodes away from the study points result in significant changes both in the magnitude and frequency of resonances [53].

To determine model detail, the system is typically split into three zones: a study zone (zone (i)), a surface zone (zone (ii)) and a deep region (zone (iii)). In the study zone, the transmission lines should be represented using the most accurate models (including frequency-dependency of parameters, detailed representation of cross-bonding of cables,...). In the surface zone, the transmission lines may be modeled using simplified approaches, such as Bergeron models or nominal PI sections. The deep region is modeled by a 50 Hz equivalent circuit based on the short-circuit strength of the external grid at that point. The rationale behind this is that high-frequency phenomena exhibit a higher attenuation compared to low-frequency phenomena. In [23], it is stated that an external network (deep region) should be represented as a power frequency network equivalent only if it has no resonances within the frequency range of interest, or if it is so far away that it does not impact the frequency response at the buses of interest.

The boundary between the three zones is not clearly defined and is typically done empirically on a case by case basis. As implemented by the Spanish and French TSO's in [40] and [54], the frequency-dependent network equivalent can be obtained by first extending the network horizontally starting from the highest voltage level, and then extending the network vertically to lower voltage levels until the network impedance does not show a significant change [23]. Applications of this approach indicate that the study zone may extend up to 7 layers in the primary network [40]. An application of this principle in [15] indicates that the zone (i) extends up to three buses from the point of interest (i.e., the line to be studied), whereas zones (ii) and (iii) may start from two to three buses from the point of interest.

3.8.2 Frequency-Dependent Network Equivalents

Resonance Analysis

A frequency dependent network equivalent should be used whenever the (modeled) network (i) has a resonance within the frequency range of interest or (ii) if it is close to the bus of interest [23]. Moreover, the frequency dependent network equivalent should represent all changes in its frequency response, e.g., due to topological changes in the external network.

Background Harmonic Amplification

To avoid calculating the harmonic impedance of interest for all possible external network impedances, a common practice is to consider only certain external network impedances based on an envelope of these external network impedances constructed in a R-X diagram. The latter diagram visualizes the external network harmonic impedances as a function of harmonic order in the R-X plane. The harmonic impedances can be grouped together into envelopes (which may be different for different harmonic orders), as to determine the boundary values for the network impedances to be considered. Although according to [21], each network should be studied on a case-by-case basis, some guidelines are given to reduce the number of calculations.

For instance, in [7], the 400 kV network is represented by a Thévenin harmonic impedance which is determined based on a detailed representation of that network. As the harmonic impedance changes with changing network conditions, a large number of harmonic impedances was considered.

The discrete points on an impedance polygon only represent the harmonic impedance of the network at one harmonic frequency, and therefore they should be used only for calculation of harmonic impedances at the frequency at which they are evaluated.

3.8.3 Network Level Detail Across Voltage Levels

The literature divides the network under study between the 'primary network' and the 'secondary network' [42]. The primary network is that part of the network which is at the same voltage level as the phenomenon/component under study. The secondary network contains all other parts of the power system. As an example, for an EHV study at 380 kV, the primary network is the EHV at 380 kV and the secondary network consists of all lower levels.

The existing literature recommends to investigate which part of the secondary network to model in detail [42]. In [45], it is strongly recommended to model at least part of the secondary network and put load models there. In [51], it was observed that putting loads directly at the secondary of the transformers in the primary network causes slight shifts in the resonance frequencies and provides increased damping.

3.8.4 Modeling Guidelines

1. A top-down modeling approach may be used when detailed information is available for all components of the network, and a reference network which is to be reduced can be constructed. A bottom-up approach

may be used when this information is not available, and constructs a reduced network starting from the point-of-interest.

2. The extent of the network to model in detail must be assessed on a case-by-case basis. The network model can be divided into three zones with varying levels of model detail, which are the study zone (e.g., most detailed transmission line models), surface zone (e.g., less detailed transmission line models) and deep region (50 Hz network equivalents).

3. The 50 Hz network equivalents may be used whenever (i) the external network has no resonances within the frequency range of interest and (ii) the external network is sufficiently far from the point of interest.

4. An external network not meeting the above requirements should not be represented by a 50 Hz equivalent, but should be represented by a frequency-dependent network equivalent or harmonic impedance. This frequency dependent network or harmonic impedance should moreover reflect different operating scenarios (or at least the worst case scenarios). For the worst case scenarios, polygon envelopes may be constructed in the R-X diagram and discrete points for each harmonic may be taken (taking into account that the outcomes of the study are then only valid at the frequency of the polygon envelope).

5. The extent of the network to be modeled across voltage levels should be assessed on a case-by-case basis. As concluded in Section 3.5, modeling part of the network at lower level and attaching loads there provides more accurate results in comparison to modeling loads directly at the secondary of the transformers connected to the primary system. In a first assessment however, loads may be modeled as parallel RL- or RC-circuits obtained from a power flow study [15].

3.8.5 Models in Commercial Software

DigSilent PowerFactory

The external grid model can be used to model the grid at the point beyond the nominal network. The external grid model is represented by an RL-impedance, which may take frequency dependent parameters. The frequency dependency of the parameters can be described by a polynomial or a vector (to take into account skin effect) [DigSilent Manual p. 820].

The network reduction tool offered in DigSilent PowerFactory is only suitable for load flow or short-circuit calculations. In the former, it keeps the sensitivities.

PSCAD

PSCAD offers a frequency-dependent network equivalent, as mentioned in Section 3.5.3. The frequency-dependent network equivalent calculates the equivalent impedance seen from that bus and fits it using Vector Fitting techniques.

SinCal

SinCal offers the "Harmonics Resonance Network" component, which calculates the network impedance at any frequency. SinCal takes as input an impedance area in the R-X plane and automatically calculates the minimum and maximum impedance based on this area.

3.9 Summary

This chapter gives an overview of the modeling rules available in the existing literature. Modeling guidelines for components have been summarized in Table 3.1. In accordance with the project scope, emphasis has been put mostly on the passive elements, and first references on power-electronic component modeling have been introduced.

In the chapter, the existing practice for selecting the extent of network to be modeled in detail has been introduced. It was found that such a modeling exercise should be done on a case-by-case basis and that models should be verified using measurements. More details on actual development and full validation of a network model for resonance studies are out of scope of this report.

[1] Simplification to be verified by sensitivity study

Table 3.1: Recommended model types for frequency domain studies

Component	Recommended model type	Alternatives[1]	Section
Overhead Line	Frequency-dependent model (Equiv. PI or ULM)	Nominal PI (only for remote lines or lines at lower voltage levels)	3.1.2
Cable	Frequency-dependent model (Equiv. PI or ULM)	Nominal PI (only for remote lines or lines at lower voltage levels)	3.1.3
Transformer	Simplified model	Classical model (for f>2-3 kHz)	
		Frequency dependent resistance (if data available)	3.2.2
Synchronous Generator	Series RL circuit, R freq. dep., L based on dq-reactances	R freq. independent for first assessment	3.3.2
Shunt reactor	Series RL circuit	L (if no data available on losses or remote element)	3.4.2
Passive Loads	Parallel RX-circuits, split between static and rotating part	Loads as RX circuits based on power-flow at transformer secondary	3.5.2
Active Components (LCC-type)	Complete model if electrically close (esp. filters)	PQ-load if electrically remote	3.7
Active Components (VSC-type)	Passive components and internal impedance as defined by controls	PQ-load if electrically remote	3.7

4

Result Interpretation

In Chapter 2, different calculation methods to be used in cable resonance studies were introduced. This chapter elaborates on the results that each of these methods provides, the specific interpretation techniques that accompany each calculation method and on when to use which method.

The chapter mainly focuses on the frequency scan and the harmonic resonance mode analysis. A voltage scan or background harmonic amplification calculation are methods derived from the frequency scan.

4.1 Preliminary Analysis

A preliminary analysis method to calculate an approximate frequency at which resonances can occur was introduced in Section 2.1, which makes use of lumped parameters [1, 20]. In [1], the authors suggest that if the approximate frequency calculated using this method —utilizing an inductance derived from the short-circuit power of the connected grid and the total capacitance of the cable— corresponds to a frequency less than the 13^{th} harmonic, more detailed harmonic studies should be conducted.

4.2 Frequency Scan

4.2.1 Theory

The frequency scan method introduced in Section 2.2 calculates the driving-point (diagonal elements of the impedance matrix, or the Thévenin equivalent impedance of the network seen from that bus [48]) and transfer impedances (off-diagonal elements of the impedance matrix) associated with a chosen test bus at every frequency within the frequency range of concern. Using the driving-point and transfer impedances, series and parallel resonances can be identified as follows: Series resonances ($Z = R$ in (1.1)) are characterized by "valleys" in the magnitude response of the impedance, whereas "peaks" in the magnitude response indicate a parallel resonance ($Z = \frac{1}{G}$ in (1.2)), with the phase angle of the impedance being zero for both types of resonances [2]. As demonstrated for a simple circuit containing both series and parallel resonances in [2], a series resonance can

be triggered by an excitation with a voltage source, while a parallel resonance can be triggered by an excitation with a current source. It is also noted that series and parallel resonances are just a naming tag valid for circuits containing a single mode of oscillation. For a simple circuit containing both series and parallel resonances, the application of the frequency scan method is demonstrated in Fig. 4.1 [2]. As explained before, the valley at 3.5 kHz corresponds to a series resonance ($f_{series} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot(C_S+C_P)}}$), and the peak at 5.03 kHz corresponds to a parallel resonance ($f_{parallel} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot C_P}}$).

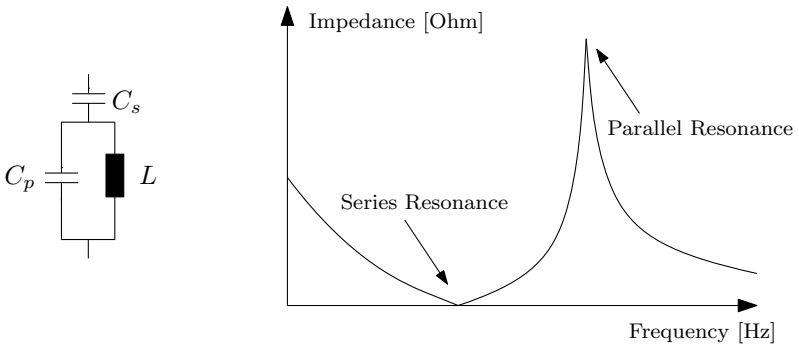


Figure 4.1: Application of the frequency scan method, based on example in [2].

The application of frequency scans during a resonance study is rather straightforward, and gives an indication on the frequency and damping of the resonance peaks, but the results that are obtained from the frequency scan do not give much information about the origin of the resonance, i.e., which equipment is causing or participating in it and which location may be suitable for adding a filter to mitigate it. For TOV studies, the frequency scan may be used to obtain the frequency region of the resonance peak and an indication of the damping at those frequencies. Therefore, for assessing TOV, it is common practice to carry out detailed time-domain simulations following a frequency scan study, focusing on the potential resonance issues in the network that are indicated by the frequency scan, as it was done by EirGrid for the Irish network in [11]. The applications that utilize the frequency scan method are explained in detail in the next section.

4.2.2 Applications in the Literature

- In the temporary overvoltage study analyzing the effect of series and parallel resonances for an increased penetration of cables in the Ireland system reported in [5], frequency scans are performed for different networks to find resonance frequencies under different network operating conditions, before detailed time-domain simulations are run. The results of the frequency scans are also used to determine the most severe switching scenario, by analyzing the frequencies in which a series or parallel resonance occurs, and associating these frequency with a switching event, e.g. choosing transformer inrush as the most severe case when the resonance frequency is close to 100 Hz. In the end, the overvoltages are evaluated based on time-domain simulation results. For more details on this method, see Section 5.

- Frequency scans are used in in [1] for studying the general trends associated with cable resonances. The study considers a cable connected to a grid represented by an equivalent inductance and resistance, representing the grid strength and XR-ratio. In the study, the input impedance (cable input voltage/cable input current), transfer function (cable input vs. cable output current) and output impedance (cable output voltage/cable output current) are calculated. It is concluded that (i) a stronger grid causes a shift of frequency peaks to a higher frequency, but also an increase in magnitude of the peaks, (ii) increasing the cable length lowers the resonance frequency but a decrease in magnitude of the peaks due to the cable resistance, (iii) the sensitivity of the resonance peak magnitudes to the resistive damping is high.

  It is concluded that as the magnitude of the cable transfer function from the sending to the receiving end during resonances is higher for stronger grids, the same harmonic source on the sending end will result in higher harmonic currents at the receiving end for stronger grids.

- In [55], the frequency scan is applied to a simple 10-bus network and the Swiss EHV network in , as part of an undergrounding study of the Swiss power system. The frequency scan results for both networks demonstrate that with the introduction of cables into the system, the resonance frequencies are brought lower.

- In [28], a model of a wind farm connection is made in EMT-type software, which is used to calculate the background harmonic amplification. Time-domain validation of the model against measured switching events show that the model is able to replicate the measured waveforms.

- In [7], problems caused by the 11^{th} and 13^{th} harmonics in the 15 kV system at the Anholt island in Denmark are analyzed by means of harmonic voltage gains, i.e., ratio of the voltages at the 400 kV and 15 kV systems for a specific harmonic frequency. In addition to field measurements to calculate the harmonic voltage gains, frequency scans are conducted to calculate the phase impedances seen from the 400 kV bus, and the harmonic voltage gains from that bus to the 15 kV bus. As a result, the harmonic problems in the 15 kV system were successfully associated with a system resonance in the 400 kV system around the 11^{th} and 13^{th} harmonic, and the calculated voltage gains matched closely to the ones measured in the real system.

- The application of frequency scans in [14] which studies the application of EHV cables in the Dutch network is accompanied by two criteria to interpret the results: the first frequency in which a resonance occurs, and the number of resonance frequencies below 2.5 kHz. As a result of the study, with the introduction of cables, a decrease in the first resonance frequency and a significant increase in the number of resonant frequencies below 2.5 kHz are observed.

4.3 Harmonic Resonance Mode Analysis

4.3.1 Theory

The HRMA first calculates the admittance matrix $\boldsymbol{Y}$ of the overall system at a desired frequency, which is followed by the calculation of its modal decomposition. The diagonal matrix of eigenvalues of $\boldsymbol{Y}$ becomes the main point of the analysis, the inverse of which is defined as the modal impedance matrix. The diagonal elements of the modal impedance matrix are analyzed at the desired frequencies, and possible resonances are detected as peaks in the modal impedances.

The information obtained from the HRMA is especially useful for locating the origin of a resonance and the buses participating in a resonance (e.g., to locate where a filter should be installed to mitigate the resonance). This information is provided by the participation factors, which are related to the eigenvectors of the admittance matrix, which provide an indication of the participation of different buses in a certain mode. By contrast, the magnitude of the modal impedances (i.e., the inverse of the eigenvalues of the admittance matrix) is hard to interpret, in the sense that there is yet no association of the eigenvalue magnitude at the resonance peak to the severity of a resonance. It should be noted that the HRMA only locates parallel resonances[27].

4.3.2 Applications in the Literature

- HRMA has been applied to the German EHV system in [56]. The system under study is composed of 268 nodes, connected only by overhead lines. In the study, only the first 50 harmonic orders are of concern, which is the reason why the authors choose not to model the stray capacitances of the transformers and the frequency-dependency of overhead line parameters. Even though the system does not contain any cables, this application can be used as an example to illustrate how the results of the HRMA can be interpreted. The authors calculate the positive- and zero-sequence modal impedance matrices of the system under study under low (loads having capacitive behavior) and high load (loads having inductive behavior) conditions. As only the resonant frequencies are of concern, the maximum modal impedance at a specific frequency is calculated, and no further analyses regarding individual resonances are conducted. It is observed that the resonance frequencies under both conditions heavily depend on the system operating mode and the switching states of the transmission lines. Moreover, it is found out that the results obtained from the positive- and zero-sequence impedance matrices were different, highlighting the importance of conducting separate resonance studies for positive- and zero-sequence networks of the system. Significant resonances at harmonic orders 23.8 and 45.4 are observed in the positive-sequence impedance matrix during low-load operation. Since the resonance at the harmonic order 23.8 lies between the negative-sequence harmonic order 23 and the zero-sequence harmonic order 24, the authors conclude that a resonance can be triggered if negative-sequence harmonics at the 23^{rd} order are injected. Similarly, the authors claim that the resonance at the harmonic order 45.4 can be excited by a positive-sequence 46^{th} order harmonic. As no significant resonances are observed at the zero-sequence impedance matrix at the harmonic order 24, no possible problems are foreseen.

- In a similar study with the German EHV system, it is shown that as more overhead lines in a section of the studied German EHV system are replaced by underground cables, the number of resonance peaks within the first 25 harmonic orders increase, and a considerable decrease is observed in the magnitude of the maximal modal impedance [57]. When compared to the other applications in the literature, the authors report a similar shift in the resonance frequencies towards lower frequencies, yet as an exception some peaks are observed at higher frequencies with the increase in cables. No analysis is conducted on the magnitudes of the impedances, the nodes participating in the resonance modes or the frequencies at which resonances occur.

- The HRMA is applied to the aforementioned undergrounding study of the Swiss power system in [55], in which the skin effect and the frequency-dependency of the line parameters are explicitly modeled, yet the capacitive and saturation effects of transformers are neglected. Different cases for the replacement of overhead lines with underground cables are studied, and it is shown that when an overhead line that is connected between nodes having a strong participation in the resonance mode is replaced with a cable, a significant drop in the resonance frequency is observed. A similar finding is reported in [58], in which replacement of overhead lines with cables in the IEEE 14-bus test network is studied.

4.4 Comparison of Frequency Scan vs HRMA

To illustrate the conceptual differences between the frequency scan method and the HRMA, their applications on a simple four-bus network are depicted in Fig. 4.2 and Fig. 4.3, respectively. In the frequency scan method, a candidate bus is selected, harmonics are injected at the chosen candidate bus, and the resulting driving-point and transfer impedances are calculated to assess the resonances. In the HRMA, however, the analysis of the impedance/admittance matrix in the modal domain corresponds to the excitation of a specific mode, which can be modeled as a simultaneous injection of harmonics at different buses. The modal impedance for a specific mode is the resulting modal voltage divided by the modal current. The modal voltage is divided over the buses based on the left eigenvector $\boldsymbol{L}$.

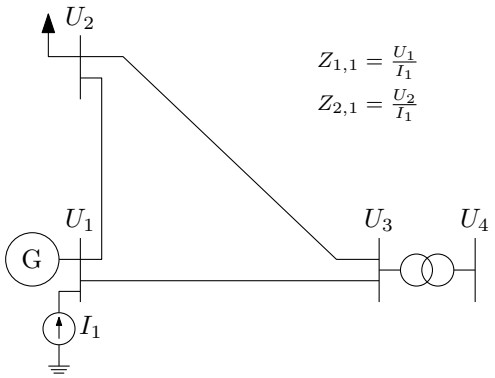


Figure 4.2: Application of the frequency scan method.

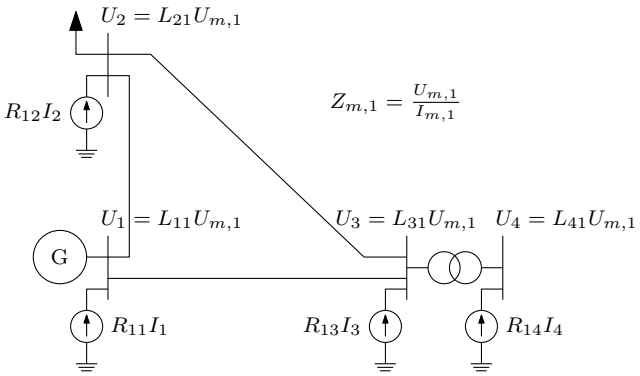


Figure 4.3: Application of the HRMA.

In [27], both the frequency scan and the HRMA methods are applied to two variants of the IEEE 14-bus test system: the original network, and a modified version of the IEEE 14-bus test system, which leaves only one capacitor at bus 9. The frequency scan is carried out by injecting a 1.0 per-unit current at bus 9, which produces the driving-point and transfer impedances of the network at bus 9. Even though the system is modified to contain only one element (capacitor) that can create resonances, it is observed that most of the calculated impedances exhibit resonances, making it harder to identify the participation of the buses in the resonance condition. When the modal impedances are calculated, however, only one mode shows resonance, which is identified to be in relation with bus 9 once participation factor analysis is applied. Similar results are obtained when there are multiple capacitors in the system, i.e. the number of modes that show resonance are the same as the number of capacitors in the system, and each mode contains only one resonance.

For the original IEEE 14-bus network, the magnitude of the maximum modal impedance at each bus for each harmonic order is evaluated in [27] to construct the "critical mode" of the system, which can also be obtained as the largest eigenvalue of $\boldsymbol{Y}^{-1}$. For three specific modes, the critical mode is compared with the driving-point impedances of the most and least participating buses. In the comparison, it is found out that the impedances of the most participating buses have peaks coinciding with the peaks in the critical mode of the system, and the buses with the lowest participation factors associated with a specific mode do not show any peaks at the resonance frequencies of the modes.

In addition to their applications in power system resonance analysis, the two methods are commonly applied to resonance studies for traction networks. Their applications are compared in [59], in which the authors claim that the results obtained from the frequency scan study are redundant as all resonance peaks and valleys are seen equally important.

The two methods are further compared in [55, 56, 60, 61]. It is claimed in [56] that frequency scan analysis is inappropriate and ineffective for analyzing the parallel resonance frequencies of a system, as different nodal impedance curves yield non-identical resonant frequencies, which cannot easily be identified from the analysis results. In contrast, authors in [61] claim that frequency scan analysis is the best choice for a graphical resonance analysis that provides a "good understanding of the system's behavior at a glance", and HRMA is suitable for detailed analysis to locate the sources of resonances.

4.5 Conclusions

In this chapter, techniques to interpret the results obtained by applying the calculation methods introduced in Chapter 2 are discussed, and compared against each other. The following general recommendations can be made regarding the interpretation of results:

- A frequency scan study may, if modeling is done properly, closely match the actual harmonic impedances or voltage gains, as e.g., shown in [28, 7]. The existence of series and parallel resonances can be identified from the frequency scan results, by identifying valleys and peaks in the impedance, respectively. However, the frequency scan does not offer the possibility to detect the causes of the resonances.
- On the contrary, the results obtained from a HRMA study offer insights in the buses participating in the resonances whereas information related to gain magnitudes has no clear meaning. It has been used as a promising tool to complement the frequency scan results and provide further information on the causes of the resonances. The calculation of the eigenvectors and participation factors of the admittance matrix show the buses that are involved in a specific resonance, and, in a further step the effects of network parameters on the magnitude and frequency of the resonance can be traced.

In summary, the frequency scan study may be used to assess the magnitude of the driving-point or transfer-impedances, to identify series and parallel resonances and to assess their severity. The harmonic resonance mode analysis may be used to identify the buses participating in a certain resonance.

5

Frequency Domain Assessment of Severity of Cable Resonances

5.1 Amplification of Background Harmonics

Amplification of background harmonics due to grid resonances may lead to distorted voltage waves or excessive currents in equipment.

Amplification of background harmonics is typically assessed by comparing future voltage waveforms against reference voltage waveforms, as discussed in Section 2.5. Hereunder, we describe the methods for harmonic assessment as reported by several TSOs in the literature.

5.1.1 Current practice as reported in the literature

RTE RTE [10] focuses on amplification of voltage harmonics and uses field measurements in combination with simulations in EMTP-RV. They measure the line-to-neutral voltage harmonics in substations where cables are connected, for several weeks. The simulations in EMTP-RV consist of simulating a base-case with the actual grid configuration, and a "future" case in which the new project is modeled. According to [28], a 1A input current is injected and voltage waveforms for both cases are obtained for each frequency (no information is given on which type of waveforms are obtained, it is assumed that this has been done using frequency scan tool of EMTP-RV, which leads to a steady-state frequency solution). The voltage waveforms at the point-of-interest are compared for each frequency, and a gain is calculated as (see also Section 2.5):

$$G(\omega) = \frac{\text{Future voltage waveform}}{\text{Today's voltage waveform}}. \tag{5.1}$$

The measured harmonics are multiplied by this gain to assess the future harmonic profile. To take into account uncertainty on future parameters, a wide range of parameters and scenarios are considered (e.g., discussed in [28]. To limit the computational effort of consecutive time-domain simulations, the 400 kV grid, with parts of

the 225, 90 and 63 kV network, (totalling 4699 electrical nodes) is reduced into a frequency-dependent network equivalent. Results of the model validation phase show that the models accurately match the measurements. RTE mentions an uncertainty of +-10 Hz on the gain factors [28].

For the harmonic voltage distortion, RTE uses a limit of 4% of the nominal voltage. In the cases reported in [28], some scenarios led to the fifth harmonic reaching an amplitude of 9% of the nominal voltage.

EnergiNet Energinet [7] uses the voltage gain to assess the amplification of voltage harmonics in the 400 kV network to the 15 kV network. They have calculated the voltage gains using DigSilent PowerFactory with following models:

- Cables: Frequency-dependent phase models (available in PowerFactory) with manual implementation of cross-bonding;
- Transformers and shunt reactors: Only specified that they use frequency-dependent parameters;
- Wind farms: Thévenin equivalent which includes transformers and filters;
- Anholt island system: Distributed system with local loads on the island as CIGRE load model;
- 400 kV external grid: Thévenin representation where harmonic impedance is based on impedance polygons (300 points per polygon per harmonic are used). Polygons are constructed using a harmonic model of Danish transmission grid.

The calculated gains matched the ones which were obtained using measurements.

In [18], a method is described to analyze background harmonic amplification for various grid reinforcement projects. The steps are:

- Build a model (using the component modeling above).
- Determine scenarios to be investigated (e.g., different load scenarios, but also different filter configurations).
- Define harmonic current injection sources.
- Calculate bus voltages for each individual harmonic current injection source.
- Use the IEC summation law to add bus voltages calculated in previous step.
- Calculate voltage gain at all buses for each of the grid reinforcement projects, taking the voltage in the grid prior to the reinforcement as a base case. Compare the voltage gain to the IEC61000-3-6 planning level.
- Post-process the scenarios using a statistical analysis (e.g., divide into percentage quantiles and divide gains into problematic/non-problematic).

Energinet thus calculates voltage gains for each harmonic, and orders them into (i) significant amplifiction (gain>2), (ii) possible amplification (1.5<gain<2) and (iii) no amplification (gain<1.5). It thereby considers that the existing harmonics already use 50 % of the planning limit.

5.2 Temporary Overvoltages (TOV) due to resonance

5.2.1 Problems Associated with TOV

Temporary overvoltages may lead to accelerated aging or permanent equipment damage. They are defined as overvoltages of a few cycles of the fundamental frequency up to a few seconds. The effect of the overvoltages depends on the type of equipment [62]: (i) apparatus with a magnetic core (e.g., transformers or inductive VTs), (ii) linear devices without a core (e.g., circuit breakers, capacitor banks,...) and (iii) non-linear surge arresters. For the first type, the TOV withstand capability is mainly determined by thermal limitations. The TOV causes heating due to overexcitation of the core. For the second type, the TOV withstand capability is mainly determined by insulation parameters (except for capacitor banks). For the third type, the TOV withstand capability is determined by energy absorption capabilities. In [11], it is argued that the VTs are the most vulnerable equipment for short-duration TOVs (<0.7s) and surge arresters are the most vulnerable equipment for long duration TOVs (>0.7s).

The general method to assessing temporary overvoltages due to resonances is to first perform a frequency scan at the buses of interest to identify switching scenarios which may cause severe overvoltages (e.g., switching

scenarios which lead to parallel resonance peaks in the vicinity of 100 or 150 Hz). The switching scenarios are, e.g., taken as energization of a cable/line from both directions (closing one breaker) with a certain configuration (open/close) of the switches surrounding the line to be energized. Thereafter, a large number of time domain simulations (e.g., line or transformer energization) are performed on those switching scenarios which were identified by the frequency scan as problematic and the results are post-processed to assess whether any TOV limit is breached.

5.2.2 Series Resonance

In [3, 9], the procedure to analyze overvoltages due to series resonance is described as follows:

1. Find the most severe switching scenarios (by engineering judgment, e.g., by selecting those topologies which are anticipated to provide the most problems);
2. Find the dominant frequency contained in the cable energization overvoltage, by (Fourier analysis of a) time domain simulation or estimation using the cable characteristics;
3. Find the natural frequency of the series resonance circuit;
4. Study the difference between the two frequencies; dominant and natural frequency;
5. Simulate the most severe switching scenarios when the two frequencies are matched.

In step 2, the dominant frequency contained in the energization overvoltage can be obtained using time domain simulations or alternatively, via an estimation using the cable length ($f_n \approx v/(4 * l)$), or for long cables, a formulation found in the literature [4, 3]. In the latter formulation, the dominant frequency is calculated based on the assumption that (i) the cable is open-ended at one side) and (ii) the dominant frequency is associated with one of the intersheath modes rather than a coaxial mode. This assumption is justified by the fact that, in order for one of the coaxial modes to dominate, a critical frequency should be exceeded, and that this frequency for 400 kV XLPE cables is in the order of 1000-1500 Hz. The dominant frequency takes into account the cable system, as well as the source impedance connected to the closed end of the cable. A comparison of these formulations with a case modeled in PSCAD showed a good match.

In step 3, the series resonant frequency is obtained using a frequency scan at the bus connected to the switch to be operated. To study the propagation of the energization overvoltage to the lower voltage level, the input seen from the primary and transfer impedance seen from the primary of the transformer to the secondary of the transformer can be used to construct a voltage amplification factor (the voltage amplification factor can be found as the division of the transfer to the input impedance, i.e., similar to a voltage divider). If this factor is high, overvoltage at lower levels is highly likely during switching.

It should be noted that the series resonant frequency depends on system conditions, and therefore may be varied (within realistic ranges) to assess the most severe overvoltages.

In a study performed for Eirgrid [5], series resonances were found in general not to be problematic, even though TEPCO had experienced transformer failure during energization.

Example The circuit shown in Fig. 5.1 shows two cables, a grid represented by an inductor and a circuit Z_{eq} at a lower voltage level. The steps above are discussed consecutively:

1. In this example, a "most severe switching scenario" is chosen as energization of one cable with the other cable out of service.
2. In step 2, the dominant frequency contained in the cable energization overvoltage is estimated as $v/(4 * l)$.
3. In step 3, the natural frequency of the series resonance circuit is calculated through a frequency scan at bus 1. The series resonance is indicated by a valley in the input impedance.
4. In step 4 and 5, if the difference between the frequencies of step 2 and 3 is low, time domain simulations should be done. Prior to this, the voltage amplification factor from bus 1 to bus 2 may be found by dividing the transfer impedance from bus 1 to 2 by the input impedance at bus 1. If the voltage amplification factor is high, overvoltages due to series resonances are likely to occur.

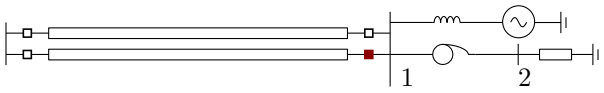


Figure 5.1: Example network for series resonance analysis.

5.2.3 Parallel Resonance

In [3, 5], parallel resonances due to transformer energization from a weak network are considered as leading to onerous overvoltages. A procedure for analyzing these overvoltages due to parallel resonance is described for a simplified circuit: in [3]:

1. Find the natural frequency of the parallel resonance circuit;
2. Set the natural frequency to 100 Hz by adjusting source impedances (or take those values of the external network harmonic impedance envelopes which lead to the lowest harmonic frequencies);
3. Simulate the most severe switching scenarios (transformer energization) with the natural frequency 100 Hz.

This procedure considers the source impedance to be an inductor, where the inductance value is determined based on the fault current level at the bus at which the cable is connected.

A more elaborate version of this procedure can be found in [5], where a larger part of the network around the bus of interest is modeled. The resonant frequencies of the parallel resonance circuit are calculated using a frequency scan.

In [11], a method for assessing the maximum permissible cable length is given. The procedure is as follows:

1. Network construction: The 400, 275 and 220 kV are modeled in detail (i.e., roughly in accordance to the modeling guidelines given in Chapter 3), whereas parts of the 110 kV system are also modeled in an EMT-type software.
2. Scenario selection: A large number of scenarios is considered, including seasonal variations.
3. Reactive power compensation: Shunt compensation is designed such that steady-state voltage limits are not breached.
4. Frequency scan: A frequency scan is performed to identify frequencies of potential resonant points.
5. TOV limit definition: Based on guidelines by IEC and IEEE, TOV limits are defined for equipment with magnetic cores, linear and non-linear equipment. VTs and surge arresters were found to be most vulnerable to TOV.
6. Time domain simulations for the critical cases to assess whether TOV limits are breached.

To increase the amount of cables in the system, mitigation methods such as a tuned filter were also considered. The frequency of the tuned filter was chosen based on the frequencies found in the frequency sweep.

To determine which cases to consider for time domain simulations, a harmonic impedance criterion is proposed in [10] and in [18]. The criterion in [10] is based on a simplified study of transformer energization against an RLC circuit. The simplified study takes into account probabilistic aspects concerning transformer energization. Based on the simplified study, a limit for the frequency domain impedance is constructed for each of the harmonic frequencies. This limit is based on a "global stress rate", which is an indicator taking into account the overvoltage stresses on the transformer and the surge arresters. In a second step, the harmonic impedance of the system connected to the transformer is determined. If the magnitude of this harmonic impedance is higher than the criterion based on the simplified transformer energization studies, then that topology is selected as a candidate for further detailed time-domain studies. A similar approach on thresholds is found in [18], several threshold values for 100, 150 and 200 Hz (+- 10 Hz) are specified based on knowledge of the Danish transmission system. These threshold values are 400, 600 and 2400 Ohms, respectively. An alternative criterion to determine which cases to consider for time domain simulation uses an index similar to the THD index [63]. It is important to note that the RTE approach as well as the approach discussed in [63] requires knowledge of the transformer energization phenomena, e.g., through a high-fidelity transformer model.

To reduce the dimensionality of the outputs of time-domain studies concerning temporary overvoltages, two new indicators to characterize temporary overvoltages are introduced in [64]. These indicators capture the RMS-value of the overvoltage as well as the peak value. They are designed to help in assessing TOV profiles obtained from EMT simulations, by reducing the time domain waveforms to these two indicators. The authors apply the method in [65] for a parametric study on harmonic filter design.

5.2.4 IEC 60007-1-4 on TOV

IEC 60007-1-4 [39] discusses in Sections 8.2 and 8.3 a fast (not recommended) and detailed calculation of temporary overvoltages. The detailed calculation of overvoltages uses the frequency domain to assess the events to be investigated and the time domain to simulate and analyze the events.

5.3 Summary

This section discusses the assessment of two potential problems associated with power system resonances, i.e., amplification of background harmonics and temporary overvoltages due to resonances.

5.3.1 Amplification of background harmonics

To assess harmonic background amplification, RTE and Energinet both calculate voltage gains. RTE multiplies the voltage gains with existing measured waveforms to obtain an estimate of the absolute voltage. This absolute voltage is compared against a limit of 4 % of the fundamental voltage waveform. Energinet classifies the voltage gains, and considers those above 2 as problematic. It thereby considers the IEC 61000-3-6 planning levels and assumes that 50 % of the planning level is already occupied as for today (meaning that gains above 2 result in harmonic voltages exceeding the planning level).

5.3.2 Temporary overvoltages due to resonances

Series resonances are identified as valleys in the driving-point impedances at the bus. A potential severe overvoltage at a lower level may exist if (i) at the primary system an overvoltage is generated at a bus due to series resonance and (ii) the frequency of this overvoltage matches the natural frequency of the lower level circuit. In the literature, in general, very few cases of such severe situations have been reported.

Parallel resonances are identified as peaks in the driving-point impedances at a bus. A potential severe overvoltage may occur if, e.g., a peak is located at a harmonic around 100-200 Hz, such that transformer energization may excite the parallel resonance. The assessment of parallel resonances may be performed by comparing the frequency domain response against a certain threshold. The limit on this threshold is reported in the literature as (i) based on operational experience, (ii) based on simulations of transformer energization against a simplified circuit. It should be noted that various values were found in different sources, but no clear agreement between those values was found.

It should be noted that, in general, the frequency domain assessment is used to indicate potential problem cases, whereas time-domain simulations are used for a complete analysis of these problem cases.

6

Mitigation Methods

This chapter provides a brief overview of mitigation methods as found in the literature [22, 52, 63, 66, 67]

6.1 Mitigation of Harmonics

Different methods exist for mitigating problems associated with harmonics [52]:

1. Design the system to withstand the effects of harmonics
2. Install filters or other mitigation devices close to the source of the harmonics
3. Reduce the generation of harmonics by, for example, increasing operation with higher pulse numbers, active wave-shaping techniques, etc.

6.1.1 System Reinforcement/Isolation Transformers

Harmonic distortion can be decreased by tuning the system impedance away from any parallel points [68], typically by increasing the strength of the system. Modifications to the system could include the commissioning of a power transformer. These will be more significant projects with long term effects on the grid and need to be analysed in depth.

In [69] the authors propose removing existing shunt capacitors in locations where new cables will be installed because the cable inherently already has a high capacitance. Alternatively, replacing shunt capacitors with C-type filters could add additional damping to higher frequencies.

Isolation transformers can also be installed, e.g., to deal with triplen harmonics (which are odd multiples of the third harmonic (3, 9, 15, 21)). Establishing a wye-delta connection can direct the triplen harmonics to the neutral connector.

6.1.2 Filters

Passive Filters

Passive filters may be a cost-effective solution to mitigate resonance problems, albeit that grid operation becomes more complex and their effectiveness may reduce when the grid impedance changes due to grid expansions [68]. The design of a passive filter consists of multiple capacitive and inductive components that are tuned to resonate at the desired frequency, or may even be a single reactor [68]. An example of a shunt filter is a C-type filter which has the advantage of having no losses at the fundamental frequency and better performance at higher frequencies. However, at extra high voltages, the physical dimensions of the filter components may form additional constraints [65].

Selecting the appropriate filter size will be a balance of cost and effectiveness. Commonly, a non-linear load will produce several harmonics. It is possible to install one large filter that will cover most of the requirements of the system. However, this would mean a much larger size of the filter, which could lead to significantly larger costs [52]. It is advised to install several smaller filters tuned to the problematic harmonics where the total installed compensation will be less than using one large filter [52, 70].

The system impedance determines the design of the passive filter. Therefore, if the system impedance changes, then the design of the filter may no longer be appropriate. For larger filters, the damping from the resistance could also increase the number of losses in the system. Finally, ageing might detune the resonance frequency over time.

Active Filters

Active filters are typically applied at the source of the harmonics. An active filter measures the harmonic distortion in a current waveform and generates a current equal current with 180 degree phase shift to revert the distorted voltage into a clean sinusoidal signal [52]. Active filters can cancel frequencies from the 2nd harmonic to the 50th and are capable of reducing the THD to less than 5% [71]. Active filters are connected in series, shunt, or a combination of both. Shunt active filters are targeted towards current harmonics, reactive power, and load current unbalance. They can be modeled as a current source. Series active power filters eliminate harmonic voltages and can be modeled as a voltage source.

Active filters overcome the shortcomings of the passive filters by not being susceptible to a change in the system impedance. Although the technology is mature also for high-voltage networks, they are often more costly and involve a higher complexity (due to the power-electronic components and controls) compared with passive filters. The most common active filter is a STATCOM or SVC compensator.

6.1.3 Limiting Harmonic Injections

By setting high standards on utilities and industries to limit the harmonic injection into the grid the risk for problems during resonance conditions might be mitigated. This is done by measuring the harmonics being produced at the source of non-linear loads or by designing components correctly so that they are operating at their rated power levels.

6.2 Mitigation of Temporary Overvoltages

Some common mitigation measures found in the existing literature to mitigate temporary overvoltages are [22, 63, 66, 67]:

- Limiting the cable lengths such that the impedance spectrum at the bus has no resonant frequencies below 150 Hz [6].
- Increase arrester voltage ratings, which causes more stringent constraints on insulation coordination. As surge arresters are not designed to withstand the relatively long TOV, this is not a recommended practice [6].
- Use shunt filters to suppress the low-frequency resonances [11, 65].
- Avoiding switching scenarios which may lead to TOV, e.g., by ensuring that alternative paths exists for transformer energization apart from a cable system [22].

- Point-on-wave switching or resistance switching: by controlling the angle at which the circuit breakers are switched in, or by adding a parallel resistance to the breaker, the overvoltages may be reduced [66].
- Neutral grounding reactor: although the neutral grounding reactor does not change the impedance spectrum, it might have a lowering effect on the overvoltages [72].
- Increasing the system loading: increasing the system loading adds damping to the system [22]. In [72], the resonance peak decreases from 16 kOhm to 8 kOhm when adding load to the system.
- Increasing the amount of classic generation: increasing the amount of generation shifts the resonances away from the low frequency region (especially during black start) [22, 63].
- Lowering the source voltage: lowering the source voltage may reduce the transformers' inrush current magnitudes [22, 63].

6.3 Practical Examples

A case study on the Northern Ireland EHV grid showed a parallel resonance peak close to the 2nd harmonic for 220 kV voltage level when 30 km of underground cables are added to the existing system. The initial time domain simulation of switching events showed that TOV was sufficient to cause harm. However, mitigation strategies could be implemented to reduce the severity. The proposed mitigation strategy was to implement a filter tuned to the resonance peak and placed close to the source of the resonance condition. This resulted in a 50 Mvar high pass filter with a tuned frequency of 143 Hz. After the implementation of the filter, the TOV was found to be within acceptable limits [68].

In [65], a parametric study on the design of C-type filters is performed. To design the C-type filters, they apply the method as described in 5.2.3. The authors conclude that design constraints for filters applied at 220 kV are lower compared to 380 kV. In the latter case, high filter ratings (in terms of MVAr) and high values for damping resistors are needed to sufficiently suppress TOVs. As an example, for the 380 kV, reactors with inductances around 500-800 mH were needed whereas in the 220 kV system, the required reactors had an inductance starting at approximately 175 mH..

In [69] the authors compare the effectiveness of using either a STATCOM or C-type filter to lower the parallel resonance peak at the third harmonic in a high voltage network in the United States. Frequency scans of the network showed that both devices shifted the impedance peak to the 4th harmonic but only the C-type filter lowered the impedance at the 3rd harmonic. An increase in the 3d harmonic impdance was noted for the STATCOM solution beyond the original peak (this increase was "on the way" to the fourth peak). It should be noted that for this study, the STATCOM was not equipped with active filtering. The study in [69] is based on the one done by KEMA in [17].

6.4 Summary

Mitigation methods to deal with background harmonic amplification and temporary overvoltages due to resonances introduced by cables may be categorized into (i) avoiding the phenomenon, (ii) suppressing the phenomenon or (iii) adapting the grid components to the phenomenon.

For background harmonic amplification, most mitigation techniques aim at suppressing the phenomenon, i.e., limiting harmonic injections, using filters or increasing system strength.

For temporary overvoltages, limiting the length of cables installed in the system, avoiding certain switching scenarios or using point-on-wave switching (for transformer energization) may be used to avoid the phenomenon. Suppressing the phenomenon can be done by (i) installing filters, (ii) increasing loading during switching, (iii) increasing traditional generation during switching, (iv) lowering source voltage during switching. To adapt grid components to the phenomenon, surge arrester ratings may be increased (although this is not recommended in literature).

It should be noted that certain mitigation methods may introduce increased complexity in operating the grid (e.g. applying filters), and may interfere with other grid phenomena (e.g. increased system strength leads to increased short-circuit currents or adapting surge arrester ratings may interfere with overvoltage management).

7

Example Case

In this chapter, a case study is performed to demonstrate the calculation methods and to illustrate the frequency shifts associated with the introduction of cables into the system. The case study is not a complete system study and results shown depend on the assumptions stated below.

⚠	The case study is not representative of a complete study of background harmonic amplification or temporary overvoltage assessment, but only represents the first step. Complete analysis methods are introduced in Chapter 5.
⚠	Although the test system shows great resemblance to the actual grid of Elia in West- and East-Flanders, the study performed here has limitations and study results should not be used for any purposes other than the demonstration of calculation methods and preliminary indications of shifts in the grid's frequency response.
⚠	The models used below are simplified. For a practical study, the guidelines according to chapter 3 should be used.
⚠	Although in a practical case study, the shunt reactors should be designed such that steady-state voltage limits are not breached, this is not done in the impedance analysis.

In the example case study, two cases are considered:

Case (i) In this case, the transmission lines between GEZEL380, IZGEM380 and AVLGM380 are overhead lines. This is the base case.

Case (ii) In this case, the transmission lines between GEZEL380 and IZGEM380 are cables, whereas those between IZGEM380 and AVLGM380 are overhead lines. Compared to the base case, a double circuit of cables (each circuit with length 52 km) is added.

The results of the base case (Fig. 7.1 and Fig. 7.2) show that

- The peaks in the sequence impedances do not necessarily coincide with the peaks in the diagonal elements of the phase impedances. This is due to the fact that the positive sequence impedance is a combination of the on- and off-diagonal elements (e.g., compare the phase impedances and positive sequence impedance around $f = 1000$ Hz in Fig. 7.1a).
- A frequency scan at a single bus may not reveal information on all possible resonances. For instance, the frequency peak in Z_{44} around $f = 2000Hz$ is not as pronounced in Z_{11}.
- Buses with high participation factors at a certain frequency also show peaks in their frequency scan (e.g., the positive sequence impedance of Z_{88} and participation factor PF_{8c} are simultaneusly high around $f = 1100Hz$ in Fig. 7.4)
- The modal analysis does not indicate series resonances.

In the example study, the (positive sequence) self impedance at bus 1 of the base case (Fig. 7.1a) shows several resonance peaks, e.g., around 140 Hz (peak 1), 655 Hz (peak 2) and a peak around 1005 Hz (peak 3). The positive sequence self-impedance at buses 2, 7 and 8 (Fig. 7.1b, c, d) show a peak around 1200 Hz (peak 4). For peak 1, all 380 kV buses except buses 8 and 9 have a similar value for the participation factor (Fig. 7.2c). For this peak, buses 8 and 9 have a lower participation factor. Peak 2 recurs also in $Z_{10,10}$ (not shown), and the modal analysis shows that the participation factor for bus 10 associated with the mode at 655 Hz is the highest. For peak 3, the participation factors of buses 7 and 8 are the highest, whereas for peak 4, bus 4 also participates (Fig. 7.2c). The series resonance seen in Z_{11} (Fig. 7.1a) is not reflected in the results of the modal analysis (Fig. 7.2b).

The comparison of frequency scans for Z_{11} of the different cases shows that:

- Increasing the amount of cables in the grid reduces the frequency at which the first resonance occurs (in this case from 150 Hz to 90-100 Hz)
- Increasing the amount of cables introduces a second peak in the frequency region below 1000 Hz (around 700-800 Hz).
- Increasing the amount of cables introduces more frequencies at which series resonance may occur.

When comparing the modal analysis for the different cases in the region 0-2500 Hz, following can be concluded:

- Increasing the amount of cables shifts the frequencies of the modes to the low frequency region.
- Adding cables to the same bus as a bus where cables are already attached (e.g, Case (ii)) may result in a preservation of a certain resonance frequency (e.g., the peak around 1000 Hz remains the same for case (i) and case (ii)), but changes the other peaks. To verify whether this is specific to this topology, this result should be verified on other topologies.
- The peak around 2000 Hz is more or less the same in both cases studied.

Finally, in Fig. 7.1a, three regions (100, 150 and 200 ± 10 Hz) are indicated, which may be used to track potential problem cases. For each of these regions, as outlined in Chapter 5, a limit on the amplitude of the impedance may be applied. Whenever the driving-point impedance exceeds this limit, a problematic case may be identified and further investigations (e.g., using time-domain simulations) may be performed for this case.

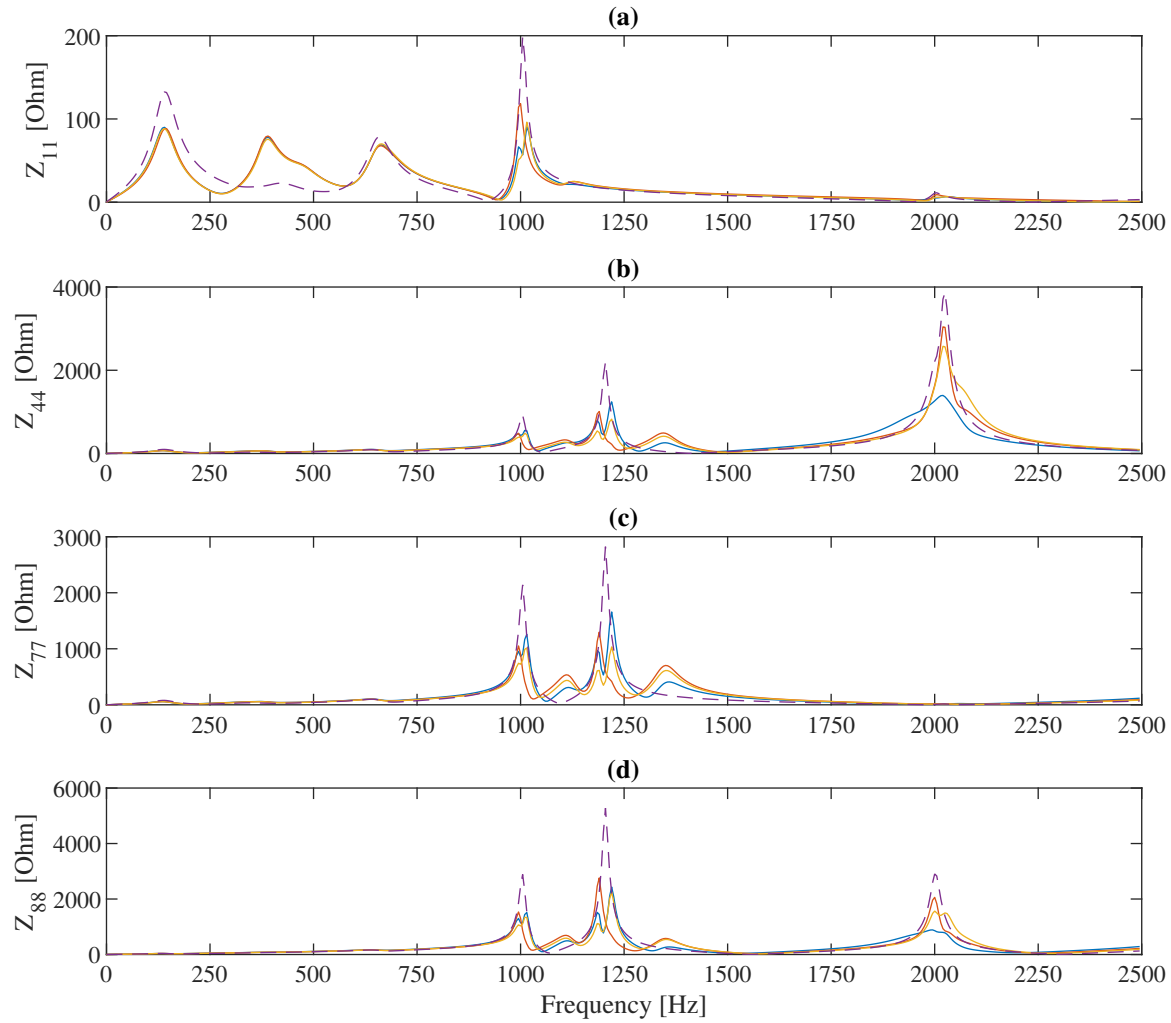


Figure 7.1: Selected elements from impedance matrix for base case (solid lines: phase impedances, dashed lines: positive sequence impedances). Indication of frequency regions within which limits on the amplitude may be applied in preliminary screening studies for temporary overvoltages.

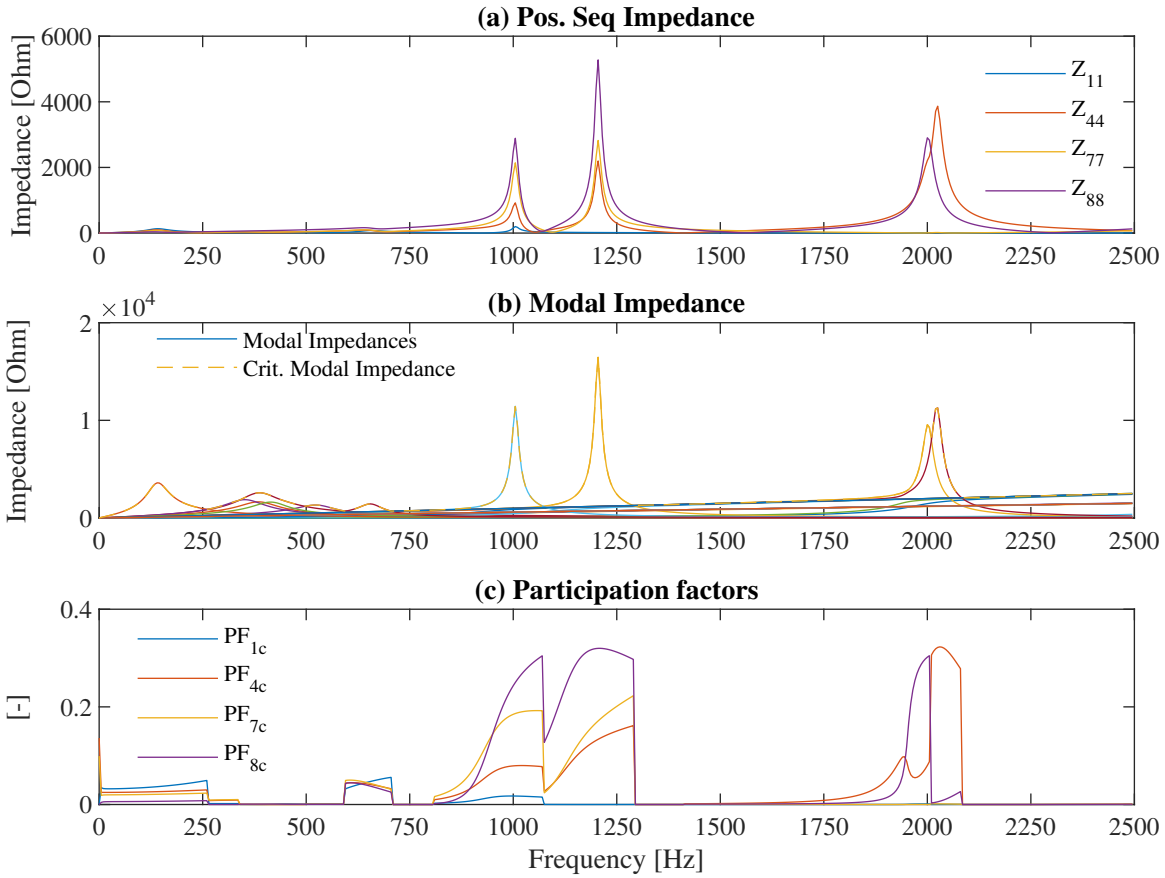


Figure 7.2: Magnitudes of the modal impedances for base case.

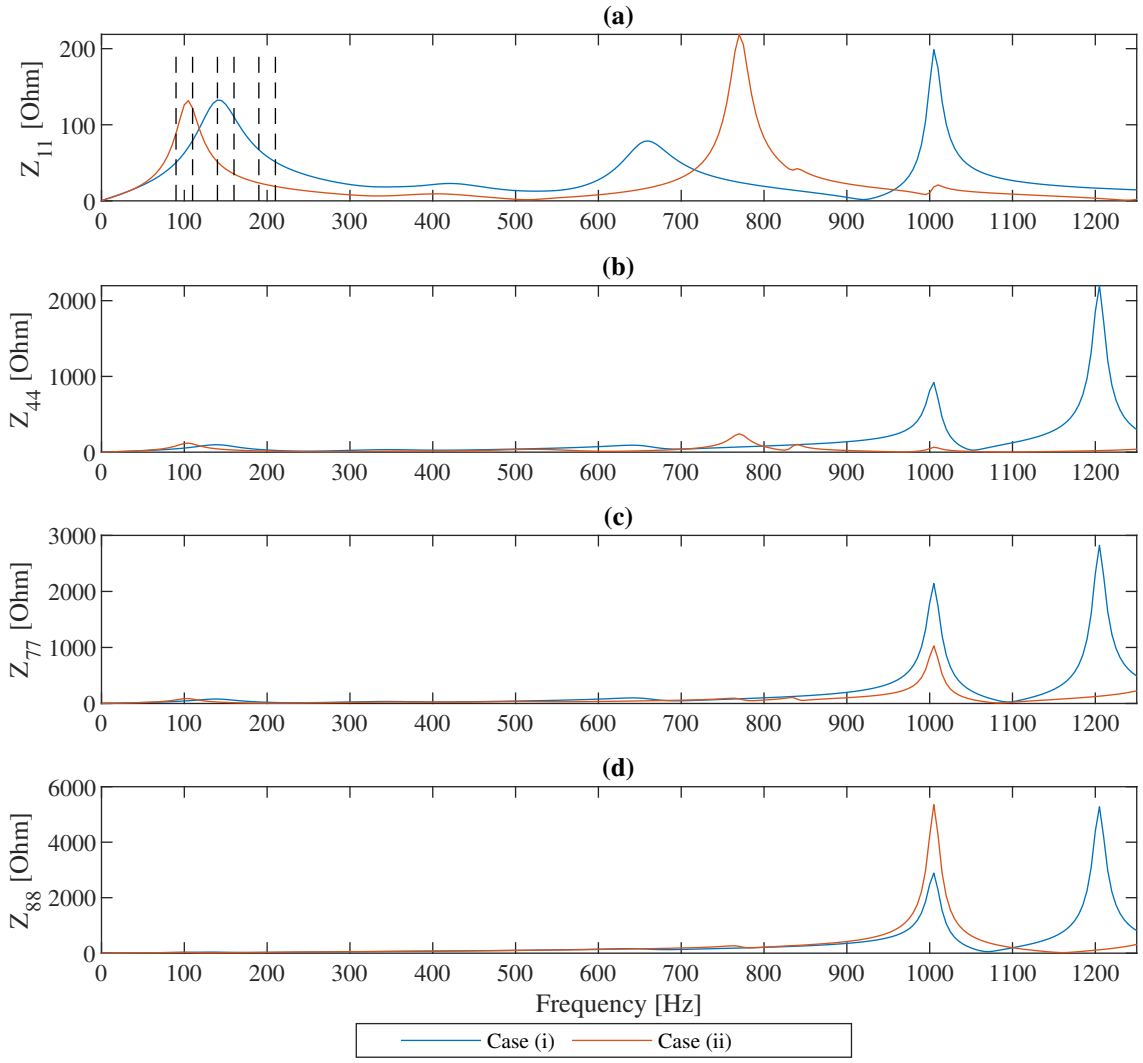


Figure 7.3: Selected elements from impedance matrix for both cases (positive sequence only).

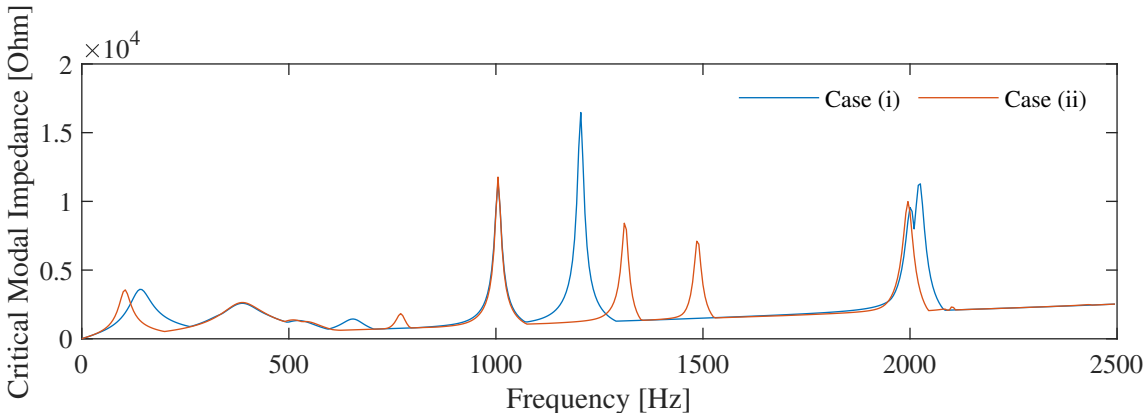


Figure 7.4: Magnitudes of the modal impedances for both cases.

8

Conclusion

Cables have been acknowledged by transmission system operators as one of the factors contributing to amplification of background harmonics or temporary overvoltages during switching events The origins of these problems lies in the shift of existing resonances to lower frequencies, caused by the increase in capacitance due to adding cables to the grid. Therefore, existing background harmonics present at those lower frequencies may be amplified to unacceptable levels, leading to e.g. power quality problems at lower voltage levels. For temporary overvoltages, the lower resonant frequencies may coincide with harmonics injected during switching events (e.g., the low-order harmonics during transformer energization). These temporary overvoltages were found to prevail especially during switching events in weak systems or in systems with a large amount of cables. An example case study in this document confirmed that increasing the amount of cables caused a shift of existing resonances to lower frequencies as well as an increase of resonance peaks in the frequency region up to 2500 Hz.

Industry practice shows that background harmonic amplification is assessed by means of harmonic voltage gains, expressing the gain of the existing background (voltage) harmonics to the ones anticipated in future grid situations. The voltage gains may be (i) compared against planning levels (assuming the existing harmonics already use part of that planning level) or (ii) may be multiplied with measured harmonic voltage waveforms to assess the absolute harmonic level in future grid situations. Uncertainty on the frequency of the voltage gain (e.g. ± 50 Hz) should be taken into account in the assessment.

Frequency scans of the driving-point impedance may indicate problematic cases of temporary overvoltages caused by series and parallel resonance phenomena, e.g., in a screening study, but should be complemented by time domain studies in a further assessment. A focus may be put on parallel resonance, as the consulted literature indicated a relatively low amount of problematic series resonance cases. A frequency domain assessment of parallel resonances consists of comparing the driving-point impedance against a certain threshold at selected frequencies (e.g., 100-150-200 Hz). The threshold is constructed using (i) TOV limits for equipment such as surge arresters or transformers and (ii) transformer energization characteristics. Thresholds on the impedance were selected at the minimum impedance (for each selected frequency) beyond which surge arresters or transformers would sustain damage. It should be noted that different sources mention various values for the thresholds, but no clear agreement between those values was found. A complete assessment of problematic cases as indicated by the frequency domain assessment typically involves complementary studies in the time domain, which are typically more time consuming. The frequency domain assessment can therefore be used to limit the amount of

cases to be studied in the time domain.

The overview of mitigation techniques to deal with background harmonic amplification and temporary overvoltages due to resonances presented in Chapter 6 resulted in the following options for harmonic compensation and temporary overvoltage management. For harmonic compensation, the options found in literature are (i) system design to increase the system inductance, (ii) passive filters, (iii) active filters and (iv) limiting harmonic injections. For temporary overvoltage management, following options were found: (i) avoiding switching scenarios which lead to problems (e.g., increasing load, increasing generation, avoiding transformer energization through a cable), (ii) using shunt filters, (iii) point-on-wave switching, (iv) neutral grounding reactors, (v) lowering the source voltage during switching. These mitigation methods may be categorized into (i) avoiding the phenomenon, (ii) suppressing the phenomenon or (iii) adapting the grid components to the phenomenon. It should be noted that some mitigation methods may introduce increased complexity in planning and operating the grid (e.g. applying filters), or may interfere with other grid constraints (e.g. increased system strength leads to increased short-circuit currents).

Besides the analysis of severity assessment and mitigation methods used within the industry, this report serves as a reference work for calculation methods (Chapter 2), modeling for resonance analysis (Chapter 3) and result interpretation (Chapter 4). Chapter 2 outlines the calculation methods which are commonly used for resonance analysis, i.e., frequency scan and harmonic resonance mode analysis, from which methods may be derived such as voltage scan or voltage gain calculations. Chapter 3 provides guidelines for modeling of components, with in accordance to the project scope, an emphasis on passive components rather than active components, and for modeling the network. The main conclusion from Chapter 3 is that resonance studies require an extensive amount of the system to be modeled in detail, and that models should ideally reflect frequency-dependency of parameters. This requires knowledge of component parameters beyond the studies done for 50 Hz. In Chapter 4, the frequency scan and harmonic resonance mode analysis are compared. The frequency scan method provides accurate estimates of the magnitude of the driving-point or transfer-impedances whereas the harmonic resonance mode analysis may be used to localize the sources of resonance.

An overview of the problems, assessment- and mitigation methods as discussed in this report are found in Table 8.1.

As a final note, the literature review reveals that practical resonance studies generally take into account the uncertainty associated with input parameters and modeling choices through e.g. model validation (for instance, in combination with measurement campaigns) and appropriate scenario selection.

Phenomenon	Example Causes	Frequency Range	Freq. Domain Indicators	Assessment	Mitigation
Background harmonic amplification	Voltage gain shift/increase due to cable insertion	E.g. 5th-7th-11th-13th harmonic [18]	Voltage gains at harmonic frequencies	Combined frequency domain modeling and measurements	System design, filtering or limiting of harmonic injections
Series Resonance Overvoltages	Energization of cable	Depends on cable length	Match between network series resonant frequency and resonant frequency at lower level network	Screening in frequency domain (series resonances and voltage gains) and further assessment in time domain studies	[In consulted literature (mainly) not considered problematic]
Parallel Resonance Overvoltages	Transformer energization in weak cable system	100-150-200 Hz [18] or 50-1000 Hz [10]	Driving-point impedance magnitude exceeding limits at specified frequencies	Screening in frequency domain, assessment in time domain studies	Switching sequences, point-on-wave switching, filtering, increased loading before energization

Table 8.1: Overview of problems associated with resonance phenomena and findings from the literature.

Bibliography

[1] M. H. J. Bollen and S. M. Gargari, "Harmonic resonances due to transmission cables," in *Proc. CIGRE Belgium*, Brussels, Belgium, Mar. 2014.

[2] CIGRE WG C4.307, "Resonance and Ferroresonance in Power Networks," CIGRE, Technical Brochure TB 569, 2013.

[3] A. Ametani, T. Ohno, and N. Nagaoka, *Cable System Transients*. Singapore: J. Wiley & Sons, 2015.

[4] T. Ohno, C. L. Bak, A. Akihiro, W. Wiechowski, and T. K. Sorensen, "Derivation of Theoretical Formulas of the Frequency Component Contained in the Overvoltage Related to Long EHV Cables," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 2, pp. 866–876, Apr. 2012.

[5] Tokyo Electric Power Company, "Assessment of the Technical Issues relating to Significant Amounts of EHV Underground Cable in the All-island Electricity Transmission System," Tokyo Electric Power Company, Public Report, Nov. 2009.

[6] CIGRE WG C4.502, "Power system technical performance issues related to the application of long HVAC cables," CIGRE, Technical Brochure 556, Oct. 2013.

[7] C. Jensen, "Harmonic Background Amplification in Long Asymmetrical High Voltage Cable Systems," in *Proc. IPST 2017*, Seoul, Korea, Jun. 2017.

[8] W. Wiechowski and P. Borre Eriksen, "Selected studies on offshore wind farm cable connections - challenges and experience of the Danish TSO," in *Proc. 2008 IEEE PES GM*, Pittsburgh, PA, USA, Jul. 2008, iSSN: 1932-5517.

[9] T. Ohno, "Dynamic Study on the 400 kV 60 km Kyndbyværket – Asnæsværket Line," PhD Thesis, Aalborg University, Aalborg, Denmark, Dec. 2012.

[10] Y. Vernay, S. Deschanvres, and Y. Fillion, "RTE experiences with the insertion of long EHVAC insulated cables," in *Proc. CIGRE 2014*, Paris, France, Aug. 2014.

[11] N. Cunniffe, M. Val Escudero, A. Mansoldo, E. Fagan, M. Norton, and C. Ellis, "Investigating the Methodology and Implications of Implementing Long HVAC Cables in the Ireland and Northern Ireland Power System," in *Proc. CIGRE 2016*, Paris, France, Aug. 2016.

[12] L. Wu, "Impact of EHV/HV underground power cables on resonant grid behavior," Ph.D. dissertation, TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, Oct. 2014.

[13] G. Hoogendorp, "Steady State and transient behavior of underground cables in 380 kV transmission grids," PhD Thesis, TU Delft, Delft, The Netherlands, Oct. 2016.

[14] H. Khalilnezhad, "Technical Performance of EHV Power Transmission Systems with Long Underground Cables," Ph.D. dissertation, TU Delft, Delft, The Netherlands, 2018.

[15] F. Barakou, "Investigation of the impact of EHV underground power cables on the resonant and transient grid behavior," Ph.D. dissertation, TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, 2018.

[16] K. Jansen, B. van Hulst, C. Engelbrecht, P. Hesen, K. Velitsikakis, and C. Lakenbrink, "Resonances due to long HVAC offshore cable connections: studies to verify the immunity of dutch transmission network," in *2015 IEEE PowerTech*, Eindhoven, The Netherlands, Jun. 2015, pp. 1–6.

[17] J. Enslin, R. Wakefield, Y. Hu, and S. Eric, "Harmonic Impedance Study for Southwest Connecticut Phase II Alternatives," Tech. Rep., Oct. 2004.

[18] Energinet, "Technical Issues Related To New Transmission Lines in Denmark," Tech. Rep. Doc. 18/04246-24, Sep. 2018.

[19] IEEE Std 519™-2014, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," IEEE, Tech. Rep. IEEE Std 519™-2014, 2014.

[20] IEEE Std 519 - 1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," IEEE, Tech. Rep., 1992.

[21] CIGRE WG B4.47, "Special Aspects of AC Filter Design for HVDC Systems," CIGRE, TB 568 Addendum to Technical Brochure 139, Oct. 2013.

[22] CIGRE WG C4.307, "Transformer Energization in Power Systems: A Study Guide," CIGRE, Tech. Rep. 568, 2014.

[23] CIGRE JWG C4/B4.38, "Network modelling for harmonic studies," CIGRE, Tech. Rep. TB 766, Apr. 2019.

[24] Zhenyu Huang, Wilsun Xu, and V. R. Dinavahi, "A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 4, pp. 1382–1387, Oct. 2003.

[25] T. Reveyrand, "Multiport conversions between S, Z, Y, h, ABCD, and T parameters," in *Proc. INMMIC*, Brive La Gaillarde, France, Aug. 2018.

[26] D. Frickey, "Conversions between S, Z, Y, H, ABCD, and T parameters which are valid for complex source and load impedances," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, no. 2, pp. 205 – 211, 1994.

[27] Wilsun Xu, Zhenyu Huang, Yu Cui, and Haizhen Wang, "Harmonic resonance mode analysis," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 2, pp. 1182–1190, Apr. 2005.

[28] Y. Fillion and S. Deschanvres, "Background harmonic amplification within offshore wind farm connection projects," in *Proc. IPST 2015*, Cavtat, Croatia, Jun. 2015, 8 pages.

[29] PSCAD, *EMTDC User's Guide*. Manitoba HVDC Research Centre, 2010. [Online]. Available: https://hvdc.ca/uploads/ck/files/reference_material/EMTDC_User_Guide_v4_3_1.pdf

[30] DigSILENT, *DIgSILENT PowerFactory 2019 User Manual*. DIgSILENT GmbH, 2019. [Online]. Available: http://79.101.33.142/DIgSILENT%20PowerFactory%202019%20User%20Manual/UserManual_2019_en.pdf

[31] SIEMENS AG, "PSS SINCAL 13.0 Harmonics," 2016.

[32] A. Bayo Salas, "Control Interactions in Power Systems with Multiple VSC HVDC Converters," PhD Thesis, University of Leuven, Leuven, Belgium, Aug. 2018.

[33] J. Martinez-Velasco, *Power System Transients: Parameter Determination*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

[34] J. Marti, L. Marti, and H. Dommel, "Transmission line models for steady-state and transients analysis," in *Proc. IEEE APT '93*, Athens, Greece, Sep. 1993, pp. 744–750.

[35] S. Grivet-Talocia and B. Gustavsen, *Passive Macromodeling - Theory and Applications*. Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2016.

[36] J. R. Marti, "Accurate Modelling of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations," *IEEE*, vol. PAS-101, no. 1, pp. 147–157, Jan. 1982.

[37] A. Morched, B. Gustavsen, and M. Tartibi, "A universal model for accurate calculation of electromagnetic transients on overhead lines and underground cables," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 3, pp. 1032–1038, Jul. 1999.

[38] CIGRE WG 33.02, "Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients," CIGRE, Brochure TB 39, 1990.

[39] IEC TR and IEC 60071-4:2004, "Insulation co-ordination — Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks," IEC, Standard, 2004.

[40] Alvarez-Cordero, Gabriel, Bachiller Soler, A., Gómez-Expósito, A., Rosendo Macías, J. A., and Gómez-Simón, Cristina, "A methodology for harmonic impedance in large power systems. Application to the filters of a VSC," in *Proc. CIGRE 2012*, Paris, France, Aug. 2012.

[41] Working Group B1.30, "Cable Systems Electrical Characteristics," CIGRE, TB 531, 2013.

[42] A. Robert and T. Deflandre, "Guide for Assessing The Network Harmonic Impedance," *CIGRE Electra*, vol. 167, Aug. 1996.

[43] CIGRE WG 36-05, "Harmonics, characteristic parameters, methods of study, estimates of existing values in the network," *CIGRE Electra*, vol. 77, pp. 35–54, 1981.

[44] IEEE Std. 399-1997, "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book)," IEEE, Tech. Rep., 1997. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/399-1997.html

[45] J. Arrillaga, L. Juhlin, M. Lahtinen, P. Ribeiro, and A. Saavedra, "Ac System Modelling For Ac Filter Design - An Overview of Impedance Modelling," *CIGRE Electra*, no. 164, Feb. 1996.

[46] P. M. Anderson, *Analysis Of Faulted Power Systems*, ser. IEEE Press Power Systems Engineering Series. NY: John Wiley & Sons, 1995.

[47] J. Wasilewski, W. Wiechowski, and C. Bak, "Harmonic domain modeling of a distribution system using the DIgSILENT PowerFactory software," in *2005 International Conference on Future Power Systems*, Nov. 2005, pp. 7 pp.–7.

[48] IEEE Std. 3002.8-2018, "IEEE Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std 3002.8-2018*, pp. 1–79, Oct. 2018.

[49] Task Force on Harmonics and Simulation, "Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks. I. Concepts, models, and simulation techniques," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 1, pp. 452–465, Jan. 1996.

[50] Luigi Colla, S. Lauria, and F. M. Gatta, "Temporary Overvoltages due to Harmonic Resonance in Long EHV Cables," in *Proc. IPST 2007*, Lyon, France, Jun. 2017.

[51] F. Barakou, M. H. J. Bollen, S. Mousavi-Gargari, P. A. A. F. Wouters, and E. F. Steennis, "Downstream network modeling for switching transients in EHV networks containing cables," in *Proc. IEEE PowerTech*, Manchester, UK, Jun. 2017.

[52] J. C. Das, *Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics*, 1st ed. New York: CRC Press, Apr. 2002.

[53] S. Dennetière, A. Parisot, E. Milin, and A. D. Pons, "Resonance and insertion studies with EMTP: Working with large scale network models," in *Proc. International Conference on Power Systems Transients (IPST2011)*, Delft, The Netherlands, Jun. 2011.

[54] Y. Vernay and B. Gustavsen, "Application of Frequency-Dependent Network Equivalents for EMTP Simulation of Transformer Inrush Current in Large Networks," in *Proc. IPST 2013*, Vancouver, Canada, Jun. 2013.

[55] O. Galland, D. Leu, V. Berner, and P. Favre-Perrod, "Resonance Analysis of a Transmission Power System and Possible Consequences of its Undergrounding," *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 59, no. 3, pp. 88–93, Sep. 2015.

[56] C. Amornvipas and L. Hofmann, "Resonance analyses in transmission systems: Experience in Germany," in *Proc. IEEE PES GM*, Minneapolis, Minnesota, USA, Jul. 2010, pp. 1–8, iSSN: 1932-5517, 1944-9925, 1944-9925.

[57] A. Neufeld, N. Schäkel, and L. Hofmann, "Harmonic Resonance Analysis for Various Degrees of Cable Penetration in Transmission Grids," in *Proc. UPEC*, Glasgow, UK, Sep. 2018.

[58] M. Quester, M. Knittel, P. Raffelsiefen, and A. Schnettler, "Resonance Mode Analysis of Cabling in the Transmission System," in *Proc. UPEC*, Glasgow, UK, Sep. 2018, pp. 1–6.

[59] H. Hu, H. Tao, X. Wang, F. Blaabjerg, Z. He, and S. Gao, "Train–Network Interactions and Stability Evaluation in High-Speed Railways—Part II: Influential Factors and Verifications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 6, pp. 4643–4659, Jun. 2018.

[60] O. Galland, L. Eggenschwiler, R. Horta, W. Sattinger, P. Favre-Perrod, and D. Roggo, "Application of Resonance Analysis to AC–DC Networks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 3, pp. 1438–1447, Jun. 2018.

[61] A. Arasteh, O. Goksu, J. N. Sakamuri, and N. A. Cutululis, "On the Methods of Resonance Identification in Power Systems," in *Proc. IEEE 2019 PowerTech*, Milan, Italy, Jun. 2019, pp. 1–6.

[62] CIGRE WG 33.10, "Temporary overvoltage withstand characteristics of extra high voltage equipment." *CIGRE Electra*, no. 179, Aug. 1998.

[63] A. Ketabi, A. Ranjbar, and R. Feuillet, "Analysis and control of temporary overvoltages for automated restoration planning," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, no. 4, pp. 1121–1127, Oct. 2002.

[64] K. Velitsikakis and C. Engelbrecht, "Proposed Method for Evaluating Temporary Overvoltages in Transmission Systems due to Low Harmonic Order Resonances," in *Proc. CIGRE Dublin*, Dublin, Ireland, Jun. 2017, 10 pages.

[65] ——, "Application of C-type Harmonic Filters as Remedial Measure Against Temporary Overvoltages in Transmission Systems due to Harmonic Resonances," in *Proc. CIGRE 2018*, Paris, France, Aug. 2020, 10 pages.

[66] J. Das, *Transients in Electrical Systems*. McGraw-Hill, 2010.

[67] London Power Associates, "Investigation into Mitigation Techniques for 400/220 kV Cable Issues," Jan. 2015. [Online]. Available: http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/Investigation-into-Mitigation-Techniques-for-Cable-Issues.pdf

[68] EirGrid, "An Information Note on Harmonic Issues and their impact on Customer connections," 2013. [Online]. Available: http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/AnInformationNoteOnHarmonicIssuesv1.0.pdf

[69] R. Wakefield, Y. Hu, J. Enslin, R. Wakefield, Y. Hu, and J. Enslin, "System Considerations and Impacts of AC Cable Networks on Weak High Voltage Transmission Networks," in *Proc. IEEE T&D*, Dallas, TX, USA, May 2006, pp. 1030–1034, iSSN: 2160-8563.

[70] K. M. El-Naggar, H. M. Ismail, and M. Al-Fahd, "Harmonic modeling, analysis, mitigation of Kuwait EHV electrical network," *Electrical Engineering*, vol. 91, no. 3, p. 145, Sep. 2009.

[71] Z. Salam, T. P. Cheng, and A. Jusoh, "Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review," *Elektrika*, vol. 8, no. 2, pp. 17–26, 2006.

[72] S. G. Kim, "Overvoltage Studies on ELIA's Stevin 380kV Cable Link (Part 1: TOV Switching Overvoltage Study)," Tech. Rep. R13-946, Oct. 2013.

A

Case Parameters

A.1 Example Test System

The example test system shown in Fig. A.1 is used only for demonstration purposes of the calculation methods and for indications regarding shifts in frequency response.

⚠	Although the test system shows great resemblance to the actual grid of Elia in West- and East-Flanders, the study performed here has limitations and study results should not be used for any purposes other than the demonstration of calculation methods and preliminary indications of shifts in the grid's frequency response.
⚠	The models discussed below are simplified. For a practical study, the guidelines according to chapter 3 should be used.

The assumptions within the study are:

- At the 380 kV buses MERCA380 and FR_EQ380, a fundamental frequency Thévenin impedance is added. The Thévenin impedance is purely inductive and resembles an external grid of 10 GVA.
- Loads are modeled directly at the secondary of the transformers. In a practical study, a frequency-dependent network equivalent should be used, or a part of the secondary network should ideally be modeled.
- The shunt compensation is left unaltered for the frequency scans, and is varied for the TOV studies.

A.2 Grid Equivalents

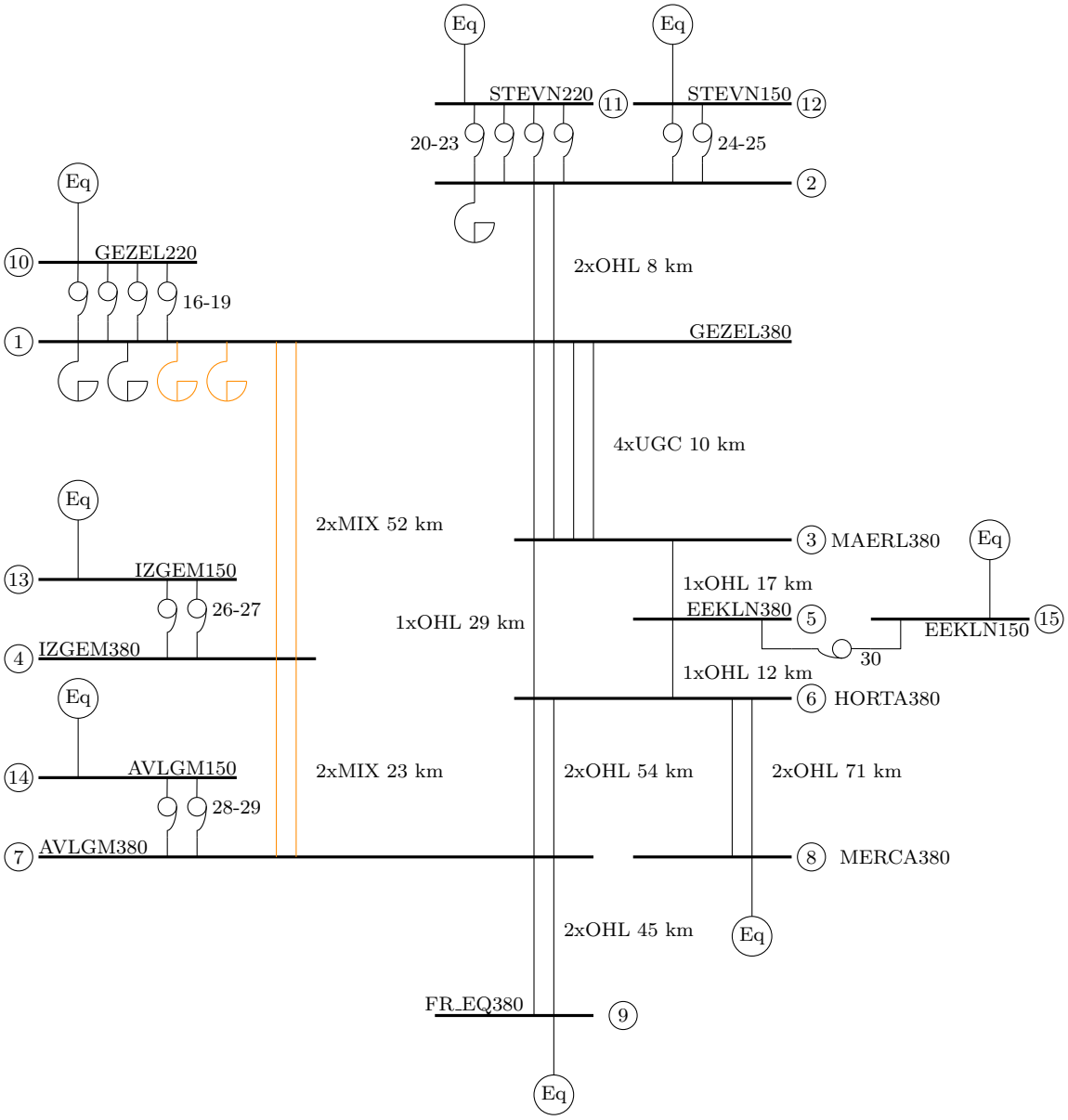


Figure A.1: Test system used in the examples

Table A.1: Cable parameters

Conductor	Inner Radius [mm]	Outer Radius [mm]	ρ [Ωm]	μ_r	ϵ_r
Core	0	31.75	2.18e-8	1	-
Inner Semiconductor	31.75	33.75	-	-	-
Main Insulation	33.75	59.55	-	-	2.26
Outer Semiconductor	59.55	60.85	-	-	-
Metallic Screen	60.85	61.05	1.72e-8	1	-
Outer Sheath	61.05	65.95	-	-	2.26

The grid equivalents, representing a system with a short-circuit level of approximately 10 GVA, are modeled as an inductor of value 0.05 H. In a practical study, a frequency-dependent grid equivalent should be used and the impedance of the grid equivalent should vary with the operating conditions. Alternatively, a larger part of the primary system should be modeled such that the fundamental frequency grid equivalent is far enough from the area of interest (study zone).

A.3 Cables

The cables are modeled as an arrangement of multiple single core cables (depending on the number of parallel circuits). The cable geometry and material parameters for a single core are given in Table A.1. The earth resistivity is set to 25 Ωm. The burial depth of the cables is 1.9 m. Each cable within a three-phase circuit has an inter-core distance of 0.5 m and the distance between the cores of the same phase within each circuit is 2.32 m. The cables sheaths are cross-bonded and at the sheaths are at the end of each cross-binding triplet short-circuited and earthed. The total length of 1 minor section is lower than 900 m.

The cables are modeled using a frequency-dependent phase model. The cross-bonding is modeled either explicitly (exact solution) or as ideal cross-bonding (approximate solution).

The length of a minor section of the cables between GEZEL380 and MAERL380, is 834 m and four major sections are used, leading to a length of 10 km. The length of a minor section of the cables between and IZGM380 is 866.7 m and 20 major sections are used. The length of a minor section of the cables between IZGM380 and GEZEL380 is 851.9 m and 9 major sections are used, leading to a length of 23 km.

A.4 Overhead lines

The overhead lines are single- or double circuit overhead lines with conductor parameters and line geometry as given in Table A.2. For a single-circuit overhead line, only one circuit (e.g., 1-3) is used. The ground resistivity is 25 Ωm.

A.5 Transformers

The transformers are autotransformers with a YNa0(d) winding configuration. The transformer parameters are given in Tables A.3 and A.4.

The transformers are modeled by a simplified circuit according to the guidelines given in Section 3.2. Copper losses are neglected.

A.6 Loads

At the 220 and 150 kV buses, loads are modeled as a parallel RX-circuit, either capacitive or inductive. At the 220 kV buses, the load is assumed to have an active and reactive power of 250 MW and 125 MVAr, respectively.

Table A.2: Overhead Line Parameters

Conductor	X [m]	Y [m]	Sag [m]	Conductor Radius [m]	Number of Bundles	DC Resistance [Ohm/km]
1	-7	30	10	.016	4	.05
2	-7	39	10	.016	4	.05
3	-7	48	10	.016	4	.05
4	7	30	10	.016	4	.05
5	7	39	10	.016	4	.05
6	7	48	10	.016	4	.05
GW1	-4	57	10	0.011	4	.1
GW2	4	57	10	0.011	4	.1

Table A.3: Transformer A parameters

Nominal Power	555 MVA
Winding 1 Voltage	400 kV
Winding 2 Voltage	150 kV
Winding 3 Voltage	34 kV
Leakage reactance (HL)	.23 pu
Leakage reactance (HT)	.23 pu (assumed)
Leakage reactance (LT)	.23 pu (assumed)
Copper loss	1600 kW

At the 150 kV buses, the load is assumed to have an active power and reactive power of 150 MW and 75 MVAr, respectively. One exception is made for the EEKLN150 kV bus, where the load is 75 MW and 37.5 MVAr. This leads to values for $\boldsymbol{R}$, $\boldsymbol{L}$ and $\boldsymbol{C}$ according to Table A.5.

Table A.4: Transformer B parameters

Nominal Power	600 MVA
Winding 1 Voltage	400 kV
Winding 2 Voltage	225 kV
Winding 3 Voltage	34 kV
Leakage reactance (HL)	.15 pu
Leakage reactance (HT)	.15 pu (assumed)
Leakage reactance (LT)	.15 pu (assumed)
Copper loss	830 kW

Bus voltage	P (MW)	Q (MVAr)	R (Ω)	L (H)	C (μF)
220 kV	250	125	193.6	1.23	8.22
150 kV	150	75	150	0.95	10.61
150 kV (EEKLN150)	75	37.5	300	1.9	5.3

Table A.5: Loads

EnergyVille unites the Flemish research institutes KU Leuven, VITO, imec and UHasselt for research on sustainable energy and intelligent energy systems.

EnergyVille
Thor Park 8310
3600 Genk, Belgium

info@energyville.be
+32 (0)14 33 59 10

Resonantie en transiënt gedrag van een uitgebreid kabelnet

Rapport over de beoordeling van het frequentiedomein en beperking van resonanties van het stroomvoorzieningssysteem

Dit rapport is een onderdeel van het project 'Resonantie en transiënt gedrag van een uitgebreid kabelnet', waarvoor opdracht is gegeven door Elia Engineering nv/sa, een lid van de Elia Groep.
Uitgever van het rapport en projectcoördinatie: dr. Willem Leterme
Onder toezicht van prof. Dirk Van Hertem en prof. Jef Beerten
Bijdragers: dr. Aleksandra Lekic, Rickard Lundholm, Philippe De Rua, Ozgur Can Sakinci
Juni, 2020
Gelieve naar dit rapport te verwijzen als: W. Leterme *et al.*, "Resonantie en transiënt gedrag van een uitgebreid kabelnet - ReportonFrequencyDomainAssessmentandMitigationofPowerSystem Resonances", KU Leuven/EnergyVille, Leuven/Genk, Belgium, ProjectReport, Juni 2020

Inhoudstafel

Executive Summary 6

Inleiding 7

1.1 Serie- en paralleresonanties 7

1.2 Gevallen van resonantie in de praktijk 9

1.3 Normatieve referenties en richtsnoeren 10

Berekeningsmethoden 12

2.1 Eerste analyse 12

2.2 Frequentiescan 12

2.3 Resonance Mode Analysis van harmonischen 14

2.4 Spanningsscan 15

2.5 Berekening van de versterking van de achtergrondharmonischen 16

2.6 Implementaties in commerciële softwaretools 16

Modellen 18

3.1 Transmissielijnen 18

3.2 Transformatoren 22

3.3 Synchrone machines 25

3.4 Shuntcompensatie - reactoren 26

3.5 Passieve belastingen 27

3.6 Frequentieafhankelijke weerstand 30

3.7 Actieve componenten (vermogenselektronische) 30

3.8 Modelleringsdetail van het netwerk en netwerkequivalenten 32

3.9 Samenvatting 35

Resultaatinterpretatie 37

4.1 Eerste analyse 37

4.2 Frequentiescan 37

4.3 Analyse van de harmonische resonantiemodus 39

4.4 Vergelijking van frequentiescan vs. HRMA 40

4.5 Conclusies 41

5.1 Versterking van achtergrondharmonischen 42
5.2 Tijdelijke overspanningen (TOV) als gevolg van resonantie 43
5.3 Samenvatting 45
Beperkingsmethoden 47
6.1 Beperking van harmonischen 47
6.2 Beperking van tijdelijke overspanningen 48
6.3 Practische voorbeelden 48
6.4 Samenvatting 49
Voorbeeldcase 50
Conclusie 55
Caseparameters 62
A.1 Voorbeeld testsysteem 62
A.2 Netequivalenten 62
A.3 Kabels 64
A.4 Bovengrondse leidingen 64
A.5 Transformatoren 64
A.6 Belastingen 64

Executive Summary

Dit rapport is onderdeel van het project 'Resonantie en transiënt gedrag van een uitgebreid kabelnet' en biedt een gedetailleerd literatuuroverzicht rond (i) modelleringsaspecten, (ii) berekeningsmethodes en het gebruik ervan in praktische studies, (iii) beoordelingscriteria die gebaseerd zijn op frequentiedomeinresultaten om gevaarlijke situaties te identificeren en (iv) beperkingsmaatregelen met betrekking tot netresonanties. Er is een casestudy opgenomen om het algemeen gebruik van de berekeningsmethodes en modellen voor het bestuderen van frequentieverschuivingen te illustreren.

De verhoging van het aandeel van kabels in het stroomvoorzieningssysteem leidt over het algemeen tot een verschuiving van resonanties in het stroomvoorzieningssysteem naar lagere frequenties, waardoor mogelijk problemen ontstaan die verband houden met twee verschijnselen. Ten eerste kunnen bestaande achtergrondharmonischen versterkt worden tot onaanvaardbare niveaus, wat leidt tot bijvoorbeeld kwaliteitsproblemen inzake stroomvoorziening bij lagere voltageniveaus. Ten tweede kunnen resonanties bij lagere frequenties (100-200 Hz) aan de oorsprong liggen van (resonante) tijdelijke overspanningen. Bleek dat deze overspanningen zich vooral voordoen tijdens omschakelingsgebeurtenissen in zwakke systemen of in systemen met een grote hoeveelheid kabels. Een casestudy die als voorbeeld wordt gebruikt in dit document bevestigt dat het verhogen van de hoeveelheid kabels een verschuiving veroorzaakte van bestaande resonanties naar lagere frequenties en een toename van resonantiepieken in de frequentieregio tot 2500 Hz.

De literatuur en industriepraktijk tonen aan dat er verschillende beperkingsmethoden bestaan om met resonantieproblemen om te gaan, maar sommige ervan kunnen ook aanleiding geven tot meer complexiteit bij het plannen en beheren van het net (bv. filters aanbrengen), of kunnen interfereren met andere netbeperkingen (bv. hogere systeemsterkte wat leidt tot meer kortsluitstromen). Beperkingsmethoden kunnen geclassificeerd worden in (i) het vermijden van het probleem (bv. de lengte van kabels beperken, omschakelingsscenario's vermijden), (ii) het wegnemen van het verschijnsel (bv. filters gebruiken) of (iii) de netcomponenten aanpassen om het verschijnsel te kunnen doorstaan (bv. afleiderratings blijven verhogen).

In dit rapport worden de beoordelingsmethoden van het frequentiedomein voor versterking van achtergrondharmonischen en (resonante) tijdelijke overspanningen in detail besproken. Op vandaag worden frequentiedomeinmethoden in de praktijk gebruikt (i) om de harmonische versterking van spanningen voor netuitbreidingsprojecten te ramen en (ii) in een screeningstudie om mogelijke problematische gevallen met betrekking tot tijdelijke overspanningen te identificeren. De screeningstudie wordt gebruikt om het aantal gevallen te verkleinen dat moet worden beoordeeld in verdere tijddomeinstudies, die nauwkeuriger maar tijdrovender zijn. De screeningstudie binnen het frequentiedomein identificeert problematische gevallen door limieten te gebruiken die meestal gebaseerd zijn op operationele ervaring of vereenvoudigde tijddomeinstudies.

Het rapport bevat acht hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt een algemene inleiding gegeven, waaronder industriële referentiecases en normatieve referenties die relevant zijn voor resonantieanalyse. In het tweede en derde hoofdstuk wordt dieper ingegaan op berekeningsmethoden van het frequentiedomein voor en modelleringsaspecten van resonantiestudies. Het vierde hoofdstuk buigt zich over de interpretatie van de resultaten die worden bekomen door gebruik te maken van de berekeningsmethoden van het frequentiedomein. Het vijfde hoofdstuk introduceert de beoordelingsmethoden zoals die in de praktijk worden gebruikt vandaag. In het zesde hoofdstuk worden beperkingsmethoden voor de versterking van achtergrondharmonischen en tijdelijke overspanningen beschreven. In het zevende hoofdstuk wordt een illustratie gegeven van de berekeningsmethoden van het frequentiedomein, de interpretatie van modellen en resultaten voor resonantieanalyse in een demonstratienet. In het achtste hoofdstuk worden de conclusies uiteengezet.

1

Inleiding

Dit rapport is onderdeel van het project 'Resonantie en transiënt gedrag van een uitgebreid kabelnet' en biedt een gedetailleerd literatuuroverzicht rond (i) modelleringsaspecten, (ii) berekeningsmethodes en het gebruik ervan in praktische studies, (iii) beoordelingscriteria die gebaseerd zijn op frequentiedomeinresultaten om gevaarlijke situaties te identificeren en (iv) beperkingsmaatregelen met betrekking tot netresonanties. Er is een casestudy opgenomen om het algemeen gebruik van de berekeningsmethodes en modellen voor het bestuderen van frequentieverschuivingen te illustreren.

Het rapport bevat acht hoofdstukken. In het eerste hoofdstuk wordt een algemene inleiding gegeven, waaronder industriële referentiecases en normatieve referenties die relevant zijn voor resonantieanalyse. In het tweede en derde hoofdstuk wordt dieper ingegaan op berekeningsmethoden van het frequentiedomein voor en modelleringsaspecten van resonantiestudies. Het vierde hoofdstuk buigt zich over de interpretatie van de resultaten die worden bekomen door gebruik te maken van de berekeningsmethoden van het frequentiedomein. Het vijfde hoofdstuk introduceert de beoordelingsmethoden zoals die in de praktijk worden gebruikt vandaag. In het zesde hoofdstuk worden beperkingsmethoden voor de versterking van achtergrondharmonischen en tijdelijke overspanningen beschreven. In het zevende hoofdstuk wordt een illustratie gegeven van de berekeningsmethoden van het frequentiedomein, de interpretatie van modellen en resultaten voor resonantieanalyse in een demonstratienet. In het achtste hoofdstuk worden de conclusies uiteengezet.

1.1 Serie- en parallelresonanties

Resonanties in het stroomvoorzieningssysteem doen zich voor als gevolg van de energie-uitwisseling tussen de inductieve en capacitieve elementen binnen het stroomvoorzieningssysteem. De introductie van kabels in het stroomvoorzieningssysteem veroorzaakt een toename van de capacitantie van het systeem die bijna twintig keer hoger is dan een bovengrondse leiding van dezelfde lengte [1]. Als gevolg verschuiven de resonanties in het stroomvoorzieningssysteem naar lagere frequenties. Over het algemeen zijn harmonischen van een stroomvoorzieningssysteem bij lagere frequenties hoger in amplitude in vergelijking met die bij hogere frequenties. Als gevolg kunnen achtergrondharmonischen in de stromen van het stroomvoorzieningssysteem die aanwezig zijn bij deze lagere frequenties, versterkt worden door het introduceren van kabels. Versterkte achtergrondharmonischen kunnen spanningen en stromen veroorzaken in apparatuur die de normale werkingsratings overstijgen, wat leidt tot kwaliteitsproblemen van een stroomvoorziening of meer druk op de apparatuur. Verder kunnen er tijdens omschakelingsgebeurtenissen, zoals bij activering van componenten, resonantieverschijnselen optreden die resulteren in tijdelijke overspanningen. Gelet op het feit dat tijdens het omschakelen van deze elementen de amplitude van harmonischen met een lage frequentie een punt van bezorgdheid is, bijvoorbeeld binnen de vork van 100-150 Hz, kunnen tijdelijke overspanningen ernstiger worden als gevolg van de toename van het aantal kabels in het systeem. Tijdelijke overspanningen kunnen aanleiding geven tot het plots uitvallen van apparatuur, tot een verminderde

levensduur van de apparatuur als gevolg van spanningsdruk of gevaren vormen voor het personeel op de site [2].

Figuur 1.1: Voorbeeld serie- (a) en parallelle (b) resonantiecircuits

1.1.1 Serieresonantie

Serieresonantie treedt op wanneer een spanningsbron de resonantiefrequentie verlaat van een reeks verbonden inductieve en capacitieve elementen. In het eenvoudige voorbeeld van Fig. 1.1a, dat genomen is uit [2], wordt de impedantie zoals die door de bron wordt gezien, aangegeven door:

Zs = R + j μ ωL − 1 ωC ¶ .

(1.1)

Bij de resonante frequentie geldt ωL = 1 ωC en wordt de impedantie R. De stroom in het circuit is dan U_S/R, en de spanningen U_L en U_C kunnen hoge amplitudes bereiken.

Het optreden van serieresonantie kan verband houden met het onderlinge spel tussen shuntcompensatie en circuitcapacitantie (bv. shuntreactoren die rechtstreeks verbonden zijn met een circuit) of combinaties van kabels en transformatoren. Serieresonanties bij fundamentele frequentie kunnen ook optreden bij (gewenste of ongewenste) niet-gesynchroniseerde omschakeling van fasen in gecompenseerde circuits, als onderling spel tussen shuntcompensaties en circuitcapacitantie [2].

Voor omschakelingsstudies wordt serieresonantie normaal gesproken bestudeerd door de resonantiefrequenties van het circuit te beoordelen en deze te vergelijken met de frequenties in de omschakelingsoverspanning, rekening houdend met de worst case omschakelingsconditie [3].

In [4] wordt een voorbeeldcase bestudeerd waarbij een kabel die overspanning activeert in het hoogspanningsnet, wordt getransfereerd naar het laagspanningsnet aangezien de dominante frequentie van de overspanning overeenstemde met de natuurlijke frequentie van het serieresonantiecircuit dat bestaat uit de kabel en de transformator die aangesloten is op de secundaire zijde. In [5] werden tijdelijke overspanningen als gevolg van serie- en parallelresonanties bestudeerd. De overspanningen als gevolg van serieresonanties bleken lager te zijn dan de standaard kortdurende stroomvoorzieningsfrequentie die de spanning aankan zoals gespecificeerd in IEC7.

1.1.2 Parallelresonantie

Parallelresonantie treedt op wanneer een stroombron de resonante frequentie van een parallel aangesloten inductief en capacitief element verlaat. In het eenvoudige voorbeeld van Fig. 1.1b, dat genomen is uit [2], wordt de admittantie die waargenomen wordt door de stroombron aangegeven door:

$Yp = G + j\,\mu\,\omega C - 1\ \omega L\ \P\ .$

Bij de resonante frequentie geldt ωC = 1 ωL en wordt de admittantie gelijk aan G. Onder deze omstandigheden nemen de stromen doorheen de condensator en de inductor hoge amplitudes, maar heffen ze elkaar op naar het externe netwerk toe. De spanning op de netwerkcomponenten krijgt een waarde van I/G, die toeneemt naarmate G afneemt.

In [3] zijn de mogelijke oorzaken van parallelresonantie de activering van transformatoren, de activering van kabels of de injectie van harmonische frequenties door bv. HVDC-converteerstations. De activering van transformatoren wordt beschouwd als de gevaarlijkste, gelet op de hoge harmonische content, de lage frequentie, de lage demping en de lange duur. Vooral parallelresonanties van ongeveer 100 Hz worden gevaarlijk geacht.

In [6] wordt vermeld dat parallelresonanties ook kunnen optreden in systemen met lange HVAC-kabels die gevormd worden door shuntreactoren en de gedistribueerde capacitantie van de kabel.

1.1.3 Impact van kabels op resonanties

De netresonanties zijn een onderling spel tussen de inductieve en capacitieve elementen in het net. Er kan worden gesteld dat kabels voor meer capacitantie zorgen in het net waardoor de resonantiefrequenties verlagen. De algemene tendensen die verband houden met kabels voor uiteenlopende netparameters (kabellengte, netsterkte en XR-verhouding) worden verder onderzocht in [1] in een verkennende studie en worden hieronder beknopt besproken.

In [1] worden de algemene tendensen die verband houden met kabelresonanties bestudeerd. De studie bestaat uit een kabel die verbonden is met een net vertegenwoordigd door een gelijkwaardige inductantie en weerstand, wat de netsterkte en XR-verhouding weergeeft. In de studie worden de ingangsimpedantie (ingangsspanning van de kabel / ingangsstroom van de kabel), de overdrachtsfunctie (ingangsstroom vs. uitgangsstroom van de kabel) en de uitgangsimpedantie (uitgangsspanning van de kabel / uitgangsstroom van de kabel) berekend. De conclusie is dat (i) een sterker net een verschuiving van frequentiepieken naar een hogere frequentie veroorzaakt, maar ook een toename van de omvang van de pieken, (ii) het verlengen van de kabel de resonantiefrequentie verlaagt maar leidt tot een daling van de omvang van de pieken als gevolg van de kabelweerstand, (iii) de gevoeligheid van de magnitudes van de resonantiepiek voor de resistieve demping hoog is.

1.2 Gevallen van resonantie in de praktijk

In de literatuur werden studies en problemen in verband met resonanties als gevolg van kabels gerapporteerd. De ervaringen en studies die verband houden met het Deense systeem worden besproken in [7], [8] en [9].

In [7] hadden de hoge amplitudes van de 11e en 13e harmonische die gemeten werden in het 15 kV stroomvoorzieningssysteem van het eiland Anholt betrekking op de versterking van de achtergrondharmonischen in het 400 kV transmissiesysteem. De reden voor de versterking van de achtergrondharmonischen in het 400 kV systeem werd teruggevonden in parallelle resonantiepieken die verschenen in het frequentiespectrum van de equivalente impedantie waargenomen vanuit de 400 kV aansluitbus.

In [8] worden de ervaringen van de Deense TNB met betrekking tot de windmolenparken Horns RevA en Horns Rev B besproken. De paper geeft aan dat de impedantie, zoals die wordt waargenomen vanuit het windmolenparksysteem, gedomineerd wordt door het kabelsysteem en een eerste resonantiepiek rond 140 Hz heeft. Verder analyseert de paper de langzaam afnemende oscillerende spanningen na het loskoppelen van het windmolenpark. De paper maakt melding van mogelijke overspanningen wanneer een van de twee kabelsystemen (parallel geschakeld) vóór de andere losgekoppeld wordt.

In [9] wordt de 60 km lange Kyndbyvaerket – Asnesvaerket-lijn van 400 kV onderzocht op overspanningen als gevolg van serie- en parallelresonantie. Er wordt een richtsnoer gegeven voor het beoordelen van overspanningen voor beide soorten resonantie. Voor serieresonantie wordt een richtsnoer voorgesteld voor het berekenen van de dominante frequenties in overspanningen, zoals ook gedocumenteerd in [4].

De ervaringen van de Franse TNB RTE met lange EHVAC geïsoleerde kabels zijn door Vernay et al. gepubliceerd in [10]. De auteurs melden dat als gevolg van de resonanties de bestaande 3e en 5e achtergrondharmonischen tot 20 keer worden versterkt. De studies van de harmonischen werden uitgevoerd door gebruik te maken van veldmetingen en simulaties in EMTP-RV. Om versterkingen van harmonischen in toekomstige projecten te bepalen, berekent RTE de spanningswinst van de toekomstige netsituatie in vergelijking met de bestaande netsituatie. Om de harmonischen in de toekomstige netsituatie te beoordelen, worden de achtergrondharmonischen die gemeten worden in het systeem vermenigvuldigd met de berekende winst.

In [5] werd een studie over tijdelijke overspanningen als gevolg van serie- en parallelresonanties uitgevoerd voor een verhoogde penetratie van kabels in het systeem van Ierland. Hierin wordt vermeld dat een defect van een transformator werd vastgesteld tijdens de testactivering door TEPCO als gevolg van een overspanning die veroorzaakt werd door serieresonantie. Voor het Ierse systeem werden overspanningen als gevolg van serieresonantie geanalyseerd door activering van de 220 kV vanuit het 400 kV systeem. In dit geval werden geen overspanningen hoger dan de limiet van de apparatuur teruggevonden. Wel werd een extreem geval van parallelresonantie (tijdens black start) teruggevonden (maar nog niet gedocumenteerd in het rapport). Om overspanningen als gevolg van parallelresonantie te analyseren, werd een frequentiescan uitgevoerd voor verschillende bronimpedanties, kabelcompensatiepercentages en kabellengtes. Op basis van deze studie werden simulaties van het EMT-type uitgevoerd om overspanningen naar aanleiding van omschakelingsacties te analyseren. Er werd vastgesteld dat in sommige gevallen het energieabsorptievermogen van de overspanningsbeveiliging was overschreden.

De maximale kabellengte die moet worden gebruikt in het 400 kV of 220 kV West-Grid-project wordt door EirGrid beoordeeld in [11]. De auteurs stellen een methodologie voor in opeenvolgende stappen, waaronder netwerkmodellering, reactieve stroomcompensatie, scenarioselectie, frequentiescan en tijddomeinsimulaties. Er wordt een beoordelingscriterium op basis van een TOV-weerstandsvermogen besproken. De auteurs komen tot de conclusie dat in het 400 kV systeem een kabel van 10 km lang niet aanvaardbaar is en dat er een aangepaste filter op ongeveer 150 Hz vereist zou zijn om overspanningen te beperken als gevolg van omschakelingsacties voor 23 tot 30 km kabel in het 220 kV net.

In Nederland werden de problemen die verbonden zijn aan kabelsystemen aangepakt in het Nederlandse kabelonderzoeksprogramma. Het Nederlandse kabelonderzoeksprogramma leidde tot verschillende PhD-theses betreffende resonant en transiënt gedrag van kabelnetten, waaronder [12, 13, 14, 15]. De Nederlandse TNB Tennet voerde ook frequentiescanstudies uit in DigSILENT PowerFactory en ATP-EMTP om een resonantie te onthullen van ongeveer 125 Hz als gevolg van de voorziene aansluiting van offshore windmolenparken op het 380 kV netwerk via lange offshore kabels [16].

In [17] werden de harmonische impedanties en beperkingstechnieken voor een systeemuitbreiding met kabels in Connecticut geanalyseerd. De conclusies waren dat (i) extra kabels leiden tot lagere resonantiefrequenties, (ii) resonantiepunten onder de derde harmonische mogelijk waren met bepaalde netuitbreidingen (en risicovol werden geacht), (iii) een combinatie van filters van het type C en STATCOM's gebruikt zouden kunnen worden als beperkingstechnieken en (iv) transiënte analyses met gedetailleerde systeemmodellen aanbevolen zijn.

De meeste studies rond het omschakelen van overspanningen focussen op de invoering van parallelresonanties rond 100-200 Hz als gevolg van het gebruik van lange kabels en beschouwen deze gevallen als potentieel gevaarlijk voor het

omschakelen van overspanningen of het herstellen van defecten. In [5] zijn er aanbevelingen terug te vinden om het omschakelen in netwerken met parallelresonantiepieken nabij 100 Hz te vermijden. In [18] worden drempels ingesteld voor impedanties rond 100-200 Hz om gevallen te identificeren die in aanmerking komen voor verder onderzoek. In [17] wordt 150 Hz beschouwd als een grensfrequentie waaronder idealiter geen resonantiepieken optreden. In [11] werd een geval met een piek rond 150 Hz onderzocht en werd aangetoond dat dit kan leiden tot onaanvaardbare overspanningen.

1.3 Normatieve referenties en richtsnoeren

1.3.1 Normatieve referenties

IEEE 399 IEEE Std. 399 is de 'Aanbevolen praktijk van het IEEE voor de analyse van industriële en commerciële stroomvoorzieningssystemen (Bruin boek)'. Het biedt tal van studies en richtsnoeren om deze studies voor te bereiden. Sommige van de besproken studies zijn: studies over ladingsstromen, kortsluitingsstudies, stabiliteitsstudies, motoropstartstudies, studies voor de analyse van harmonischen, transiënte omschakelingsstudies, betrouwbaarheidsstudies, studies over de belastingscapaciteit van kabels, grondmatstudies, coördinatiestudies en analyses van hulpstroomvoorzieningssystemen met gelijkstroom.

IEEE 519 IEEE Std. 519 heeft als titel 'Aanbevolen praktijken en vereisten voor controle van harmonischen in elektrische stroomvoorzieningssystemen'. De versie van 2004 [19] bevat een deel rond metingen van harmonischen en een deel rond aanbevolen harmonische spanning en stroomvervormingslimieten. De versie van 1992 [20] is meer uitgebreid. Zo is er bijvoorbeeld een sectie over modellering, maar mogelijk is de informatie verouderd.

IEEE 1531 IEEE Std. 1531 - 2003 (R2009) is het 'IEEE-richtsnoer voor toepassing en specificatie van harmonische filters'. Hierin worden ontwerpoverwegingen gespecificeerd voor harmonische filters in het algemeen en worden specifieke aanbevelingen gegeven voor laag-, midden- en hoogspanningsfilters.

IEEE 3002.8-2018 is de 'Aanbevolen praktijk voor het uitvoeren van harmonische studies en analyses van industriële en commerciële stroomvoorzieningssystemen'. Hierin wordt een beschrijving gegeven van de methodologie voor analyses van harmonischen, systeemsimulatie en modellering, vereiste inputgegevens, gegevensverzameling en -voorbereiding en worden aanbevelingen gegeven voor studiescenario's, parameters en resultaten. De norm focust zich in het bijzonder op industriële en commerciële stroomvoorzieningssystemen, hoewel de basis ook van toepassing is op hoogspanningssystemen. De norm focust op stationaire harmonischen in plaats van op in de tijd variërende harmonischen.

IEC 61000 IEC 61000 verschaft overeenkomstig [ArrillagaBook] internationaal aanvaarde informatie voor de controle van harmonische (en interharmonische) vervorming van stroomvoorzieningssystemen. Ze bespreekt hoofdzakelijk elektromagnetische compatibiliteit (EMC).

IEC TR60071-4 IEC TR60071-4:2004 is een 'Computationeel richtsnoer voor isolatiecoördinatie en modellering van elektriciteitsnetten'. Ze classificeert resonantie in een parallelle lijn als een tijdelijke overspanning en verschaft modelleringsrichtsnoeren. Ze biedt ook een methode voor een snelle schatting rond tijdelijke overspanningen en een gedetailleerde berekeningsmethode.

1.3.2 Richtsnoeren

CIGRE TB139 In het tweede hoofdstuk van het addendum bij CIGRE TB139 [21] van WG B4.47 (Richtsnoer voor de specificatie- en ontwerpevaluatie van wisselstroomfilters voor HVDC-systemen) worden overwegingen voor netwerkmodellering en voor het selecteren van casestudies voor het ontwerp van wisselstroomfilters voor HVDC-systemen besproken. De bijlage bij dit hoofdstuk bevat ook informatie over de modellering van de impedantie van wisselstroomnetwerken voor harmonische frequenties, waarbij wordt gefocust op belastingen, transformatoren, machines en transmissielijnen.

CIGRE TB556 In deze technische brochure [6] worden technische prestatieproblemen besproken met betrekking tot lange wisselstroomkabels en worden aanbevelingen rond de modellering voor kabels voor stroomfrequentie- en transiënte studies gegeven.

CIGRE TB568 In deze technische brochure [22] wordt een generisch richtsnoer verschaft rond studies over de activering van transformatoren in stroomvoorzieningssystemen. Er worden in het bijzonder problemen besproken met betrekking tot overspanningen als geval van parallelresonantie tijdens de activering van transformatoren. De brochure biedt ook een overzicht van beperkingsmaatregelen en beste praktijken die verband houden met deze overspanningen.

CIGRE TB569 In deze technische brochure [2] worden de fundamentele kenmerken besproken van resonantie en ferroresonantie in stroomnetwerken, worden typische topologieën geïntroduceerd en worden aanbevelingen rond modellering gegeven, vooral voor resonantie bij fundamentele frequentie en ferroresonantie.

CIGRE TB766 Deze technische brochure [23], die in april 2019 is uitgebracht, bevat uitgebreide up-to-date informatie over de modellering van netwerken voor harmonische studies. Naast passieve elementen wijdt ze ook een hoofdstuk aan op stroom-elektronica gebaseerde netwerksystemen.

CIGRE TB754 bespreekt harmonische aspecten met VSC HVDC-systemen. Ze bespreekt de VSC als een bron van harmonischen en verschaft modelleringsmethodes voor VSC's in harmonische studies. In de brochure worden ook harmonische instabiliteiten als gevolg van controle-interacties (bv. niet-passiviteit) van de VSC met de netimpedantie besproken.

CIGRE WGB4.66 (TB-nummer moet nog worden toegekend) bespreekt het gecoördineerde ontwerp voor harmonische filters voor HVDC-converteerstations in de dichte nabijheid. Ze bespreekt aspecten als filterrating, identificatie en preventie van potentieel problematische resonanties en specificatie van harmonische limieten die worden toegepast op dit specifieke geval.

Zo beveelt ze bijvoorbeeld een harmonische interactiescreening aan die gebaseerd is op (harmonische) multi-feed interactiefactoren.

Berekeningsmethoden

Dit hoofdstuk introduceert de berekeningsmethoden die gebruikt kunnen worden voor een frequentiedomeinbeoordeling van resonanties en harmonischen. Er wordt vooral een gedetailleerd beeld gegeven van de beweegreden achter de berekeningsmethoden. In hoofdstuk 4.5 wordt een gedetailleerde beschrijving gegeven van de interpretatie van de resultaten van deze berekeningsmethoden en wordt besproken wanneer welke methode moet worden gebruikt.

2.1 Eerste analyse

In [1] wordt een vereenvoudigde berekeningsmethode gebruik in een eerste analyse. De resonante frequentie wordt geraamd op basis van:
waarbij L berekend wordt op basis van het kortsluitvermogen van het net dat aangesloten is op de kabel en C de totale kabelcapacitantie is. Deze methode wordt ook gebruikt in IEEE Std. 519-1992 [20] in een eerste analyse betreffende condensatoren.

De nadelen van deze methode zijn dat (i) ze frequentieafhankelijke effecten in de impedantie van het voedingsnet negeert, (ii) gedistribueerde effecten in de kabelcapacitantie negeert en (iii) de volledige capacitantie in één enkel punt onderbrengt. In [24] wordt geconcludeerd dat deze methode te ruw is om praktisch te zijn, zelfs voor resonantieberekeningen met condensatorbanken. In kabeltoepassingen bleek dat de fouten van deze methode groter werden voor lange kabels die aangesloten waren op sterke netten [1].

In [9] wordt een gelijkaardige eenvoudige berekeningsmethode gegeven voor een kabel die gemodelleerd is door gebruik te maken van gedistribueerde parameters. De resonantiefrequentie van een dergelijke kabel wordt aangegeven door:
waarbij L en C de totale inductantie en capacitantie zijn van de kabel.

We bevelen aan om deze methodes enkel te gebruiken in een eerste analyse om het bereik van frequenties dat mogelijk geïntroduceerd wordt door het kabelsysteem, te identificeren.
De analyse van een frequentiescan levert de 'ingangs'-impedantie voor de injectiebus of de 'transfer'-impedantie van de injectiebus naar de testbus voor elke frequentie op. De ingangsimpedantie bij knooppunt *k* wordt berekend als de relatie tussen de stroom die geïnjecteerd wordt bij knooppunt *k*, waarbij alle andere stroominjecties nul worden geacht, en de daaruit voortvloeiende spanning bij knooppunt *k*. De transferimpedantie vanuit knooppunt *k* naar knooppunt *l* wordt beschouwd als de relatie tussen de geïnjecteerde stroom bij knooppunt *k,* waarbij alle andere stroominjecties nul worden geacht, en de daaruit voortvloeiende spanning bij knooppunt *l*. Met injectiebus wordt bedoeld de bus waarbij de harmonische stroom wordt geïnjecteerd, terwijl met testbus wordt bedoeld de bus waarbij de harmonische spanning wordt geëvalueerd.

2.1.1 Admittantiematrix

In dit geval worden de ingangs- en transferimpedanties berekend door eerst de admittantiematrix Y te berekenen. De admittantiematrix Y kan opgebouwd worden op basis van de netwerktopologie en de primitieve admittantiematrixen van elke component.

Voor een netwerk met N-knooppunt wordt voor elke frequentie ωn de relatie tussen geïnjecteerde stromen bij de knooppunten {I1(ωn),...IN (ωn)} en spanningen op de knooppunten {U1(ωn),...UN (ωn)} aangegeven door

waarbij Yx,y (ωn) het matrixelement is op positie x, y in de admittantiematrix Y (ωn) bij frequentie ωn. In het volgende is het argument ωn omwille van de beknoptheid weggelaten, waardoor impliciet wordt verondersteld dat alle hoeveelheden berekend worden bij een bepaalde frequentie.

De impedantiematrix kan vervolgens berekend worden als het omgekeerde van de admittantiematrix:
$Z = Y^{-1}$.
(2.4)
De on-diagonaalelementen vertegenwoordigen de 'ingangs'- of 'zelfimpedanties', m.a.w. de Thévenin-impedantie van het netwerk zoals die gezien wordt vanuit bus *k*. De off-diagonaalelementen vertegenwoordigen de 'transfer'- of 'wederzijdse' impedanties. De harmonische spanning bij een bus *l* voor een injectie van 1.0 A met een harmonische frequentie van *h* bij bus *l* kan dus teruggevonden worden als de amplitude van $Z_{h,k,l}$.

Anderzijds kan de ingangsimpedantie berekend worden via de volgende stappen. Ten eerste wordt de spanning bij knooppunt *k* op de eerste rij van de spanningsvector *U* geplaatst. Daarvoor moeten de kolommen 1 en *k* worden omgewisseld:

Daarna worden de rijen 1 en *k* omgewisseld zodat I_k op de eerste rij van de stroomvector *I* kan worden geplaatst:

(2.6)

De admittantiematrix heeft nu het volgende formaat:

$$\begin{vmatrix} Y_{k,k} & Y_{k,:} \\ Y_{:,k} & Y_{:,:} \end{vmatrix}$$

en Kron-eliminatie kan toegepast worden om de gelijkwaardige admittantie terug te vinden die gezien wordt vanuit bus *k*:

$$Y_k = Y_{k,k} - Y_{k,:} Y_{:,:}^{-1} Y_{:,k}.$$

De ingangsimpedantie kan berekend worden als het omgekeerde van Y_k:

$$Z_{h,k}, _k = Y_k^{-1}.$$

(2.7)

(2.8)

(2.9)

De transferimpedantie van knooppunt k naar knooppunt l kan bekomen worden via een vergelijkbare routine, waarbij in plaats van U_k, U_l wordt omgeruild met de eerste rij.

2.1.2 ABCD-matrix

De ABCD-matrix biedt een alternatieve benadering om een netwerk met meerdere poorten weer te geven. Elk subnetwork van een netwerk met meerdere poorten kan weergegeven worden door gebruik te maken van ABCD-parameters tussen gekozen ingangspinnen (knooppunten) en uitgangspinnen (knooppunten). Ingangs- en uitgangspinnen worden beschreven door hun spanning en stroom. Zo verschaffen ABCD-parameters een verbinding tussen ingangsspanningen en -stromen en uitgangsspanningen en -stromen. Laten we veronderstellen dat met $V_{i,k}$ en $I_{i,k}$ respectievelijk de k^{de} multipoort ingangsspanning en -stroom en met $V_{o,k}$ en $I_{o,k}$ de k^{de} uitgangspanning en -stroom worden aangegeven. In geval van N ingangs- en N uitgangsknooppunten resulteren de ABCD-parameters in de volgende matrixrelatie:

$$\begin{vmatrix} V_{i,1} \\ V_{i,2} \\ \\ V_{i,N} \\ I_{i,1} \\ \\ I_{i,N} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \cdots & A_{1,N} & B_{1,1} & B_{1,2} & \cdots & B_{1,N} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \cdots & A_{2,N} & B_{2,1} & B_{22} & \cdots & B_{2,N} \\ \\ A_{N,1} & A_{N,2} & \cdots & A_{N,N} & B_{N,1} & B_{N,2} & \cdots & B_{N,N} \\ C_{1,1} & C_{1,2} & \cdots & C_{1,N} & D_{1,1} & D_{1,2} & \cdots & D_{1,N} \\ \\ C_{N,1} & C_{N,2} & \cdots & C_{N,N} & D_{N,1} & D_{N,2} & \cdots & D_{N,N} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_{o,1} \\ V_{o,2} \\ \\ V_{o,N} \\ I_{o,1} \\ \\ I_{o,N} \end{vmatrix}$$

(2.10)

Meestal wordt deze matrix vertegenwoordigd door zijn submatrixen **A, B, C** en **D** van grootte ***N x N*:**

$$\begin{bmatrix} V_{i,1} \\ V_{i,2} \\ \\ V_{i,N} \\ I_{i,1} \\ \\ I_{i,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{o,1} \\ V_{o,2} \\ \\ V_{o,N} \\ I_{o,1} \\ \\ I_{o,N} \end{bmatrix}$$

(2.11)

waarvan de componenten waarden $\boldsymbol{X_{i,j}}$ hebben voor ***X ε {A, B, C, D}*** en ***i,j ε {1, …, N}*** als in (2.10).

Hoewel ABCD-parameters enkel naar behoren gedefinieerd kunnen worden wanneer het aantal ingangs- en uitgangsknooppunten (spanningen en stromen) hetzelfde is, heeft deze multipoortweergave meerdere voordelen:

- De ingangs- en uitgangsmultipoortimpedantie kan rechtstreeks worden teruggevonden. De zichtbare impedantie vanuit de ingangsknooppunten, uitgaande van de veronderstelling dat uitgangsknooppunten verbonden zijn met de diagonale belasting $\boldsymbol{Z}_t$ of 'geaard' (vertegenwoordigd door een nulbelastingsmatrix), wordt aangegeven met de formule:

$\mathbf{Z}i = (\mathbf{A}\mathbf{Z}t + \mathbf{B})(\mathbf{C}\mathbf{Z}t + \mathbf{D})^{-1}$, (2.12)

terwijl de zichtbare impedantie vanuit de multipoortuigangsknooppunten die verbonden zijn met de diagonale belasting of 'geaarde' ingangsknooppunten de volgende is:

$\mathbf{Z}_o = (\mathbf{Z}_t \text{ x } \mathbf{C}\text{-}\mathbf{A})^{-1} \text{ x } (\mathbf{Z}_t \text{ x } \mathbf{D} \text{ -}\mathbf{B})$. (2.13)

- Er is de unieke weergave van elk multipoortnetwerk door gebruik te maken van ABCD-parameters. Bijvoorbeeld, ABCD-parameters worden gedefinieerd zelfs in gevallen waarbij de admittantiematrix niet bestaat, bijvoorbeeld in geval van oneindige shuntadmittantie.
- ABCD-parameters werken met spanningen en stromen en daardoor hebben de waarden in de ABCD-matrix duidelijke fysieke afmetingen en 'betekenis'. Dit kan niet gezegd worden van H (hybride) parameters die meestal gebruikt worden voor RF- en micro-elektronische simulaties.
- Er is een unieke relatie tussen multipoort Z, Y, H, S en ABCD-multipoortparameters [25, 26].

In stroomvoorzieningssystemen wordt de ABCD-representatie momenteel niet veel gebruikt in simulatietools. Evenwel rekening houdend met het feit dat een 'natuurlijk' frequentieafhankelijk transmissielijnmodel wordt gegeven door gebruik te maken van ABCD-parameters, is het gebruik van ABCD-parameters in analyses en simulaties van stroomvoorzieningssystemen uitgegroeid tot een populair onderwerp. Onderzoek dat wordt gepresenteerd in [12] stelt het gebruik voor van ABCD-parameters voor simulatie van het stroomvoorzieningsnet dat zowel bovengrondse leidingen als kabels bevat.

2.1.3 Fast Fourier Transform

Naast een analytische benadering, kan de ingangs- of transferimpedantie bij een specifieke harmonische frequentie bekomen worden door gebruik te maken van een tijddomeinsimulatie in een tool van het EMT-type door een harmonische stroom te injecteren in een injectiebus ***k*** en de daaruit voortvloeiende spanning te meten in de testbus ***l***. De impedantie wordt bekomen door de Fast Fourier Transform (FFT) toe te passen op de gemeten spanning in de testbus en de geïnjecteerde stroom in de injectiebus:

Zh,k,l = Vl (h) Ik (h) . (2.14)

2.2 Resonance Mode Analysis van harmonischen

In 2005 werd door Wilsun Xu et al [27] een tool geïntroduceerd die vooral ontwikkeld was voor de analyse van parallelresonantie. Deze gebruikt eigenvectoranalyse op de admittantiematrixbus om de modale respons van het systeem te weten te komen. Het voordeel van het gebruik van Resonance Mode Analysis (RMA) in vergelijking met een frequentiescan van de admittantiematrix is dat deze informatie kan opleveren op basis waarvan bussen of toestellen bijdragen tot bepaalde resonanties, wat niet kan bekomen worden door gebruik te maken van een frequentiescan.

In RMA wordt de admittantiematrix ***Y*** onderverdeeld in linker (***L***) en rechter (*R*) eigenvectoren, en een diagonale matrix met de eigenwaarden Λ:

$$[Y] = [L][\Lambda][R]. \quad (2.15)$$

Wanneer we $[Um] = [R]U$ en $[Im] = [L]I$ definiëren als de vectoren van spanningen en stromen in het modale domein, komen we tot:

$$\mathbf{[Um] = [\Lambda]^{-1}[Im]}, \quad (2.16)$$

en voluit:

$$\begin{vmatrix} {}^{U}m,1 \\ {}^{U}m,2 \\ \\ {}^{U}m,N \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} A_1^{-1} & 0 \bullet & & -00 \\ 0 & & A^{-1} & \bullet \\ & & & \\ 0 & 0 \bullet & \bullet\ {}^{A}\text{N-} & \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} {}^{I}m,1 \\ {}^{I}m,2 \\ \\ {}^{I}m,N \end{vmatrix}$$

Vanuit de diagonale matrix kan men zien dat, wanneer de modale impedantie gelijk is aan nul, bv. $\lambda_1 = 0$, of een singulariteit benadert, een kleine modale stroom $\boldsymbol{J_1}$ aanleiding zou geven tot een grote modale spanning, $\boldsymbol{U_1}$. Een lage waarde voor λ kan dus gebruikt worden om een parallelresonantie te identificeren. In [27] wordt de kleinste eigenwaarde aangegeven als de kritieke modus en de eigenvectoren ervan als de kritieke eigenvectoren.

De kritieke rechter en linker eigenvectoren geven de locatiespecifieke 'prikkelbaarheid' en de locatiespecifieke 'waarneembaarheid' aan van de kritieke modus. Bijvoorbeeld, beschouwd de modale stroom van de eerste modus als de kritieke modus:

$$\boldsymbol{I_{m,n} = R_{11}I_1 + R_{12}I_2 + \ldots + R_{1N}I_N} \quad (2.18)$$

Zo kan men zien dat de waarde van $\boldsymbol{R_{1k}}$ de bijdrage van een bus aan de eerste modus bepaalt. De modale

spanning kan verdeeld worden over de bussen als:

$$\begin{vmatrix} U1 \\ U2 \\ \\ UN \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} L11 \\ L21 \\ \\ LN1 \end{vmatrix} U_{m,1} + \begin{vmatrix} L12 \\ L22 \\ \\ LN2 \end{vmatrix} U_{m,2} + \dots + \begin{vmatrix} L1N \\ L2N \\ \\ LNN \end{vmatrix}$$

(2.19)

De bijdrage van een bepaalde modus ***m*** aan een bepaalde bus ***k*** wordt dus aangegeven door $\boldsymbol{L_{k,m}}$ of met andere woorden een hoge waarde voor $\boldsymbol{L_{k,m}}$ houdt in dat de modus ***m*** gemakkelijk kan worden waargenomen bij bus ***k***. Wanneer modus 1 de kritieke modus is, wordt de bovenstaande vergelijking verkleind tot:

(2.20)

$$\begin{vmatrix} U1 \\ U2 \\ \\ UN \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} L11 \\ L21 \\ \\ LN1 \end{vmatrix} U_{m,1}.$$

In [27] wordt ook opgemerkt dat de kritieke modus mogelijk geen schadelijk gedrag kan vertonen, maar het is niet onderzocht hoe de grootte van de modale impedantie in verband kan staan tot enig schadelijk gedrag.

Het voordeel van het gebruik van de modale analyse ligt dus in het identificeren van de locatiespecifieke waarneembaarheid en prikkelbaarheid van resonanties, wat kan door gebruik te maken van een participatiefactor. Participatiefactoren van de bus aan de kritieke modus worden gedefinieerd als $\boldsymbol{PF_{m,k} = L_{m,k}R_{m,k}}$ en deze combineren waarneembaarheid en prikkelbaarheid. Een relatie die gebruikt wordt in [27] is dat $\boldsymbol{[R] = [L]_T}$, wat leidt tot twee interessante conclusies:

1. De bus waar de modale resonantie het sterkst waarneembaar is, is ook de bus die het meest bijdraagt aan de modale resonantie.
2. Participatiefactoren zijn gelijk aan het vierkant van de eigenvectoren, wat betekent dat ofwel participatiefactoren ofwel eigenvectoren nodig zijn voor de analyse. De participatiefactoren kunnen dus gebruikt worden als een index voor hoever de resonantie zich zal verspreiden. De bus met de hoogste participatiefactor wordt beschouwd als 'resonantiecentrum'.

Het is belangrijk op te merken dat deze methode mogelijk niet gebruikt wordt om serieresonanties te analyseren. Om een serieresonantie te identificeren, dient men een lusimpedantiematrix te definiëren en het omgekeerde van de eigenwaarden van deze matrix te analyseren.

2.4 Spanningsscan

Een spanningsscan berekent de spanningsversterking van een spanning die gemeten worden in een bus *l* tot de stroom die geïnjecteerd is bij bus *k*. De spanningsversterking wordt zo gedefinieerd door:

$$G(\omega) = Ul(\omega)\, Uk(\omega)\,. \qquad (2.21)$$

2.4.1 Matrixmethode

De spanningsversterking kan berekend worden door een injectiebus *k* en testbus *l* als volgt te beschouwen. Een spanning wordt geïnjecteerd in bussen k, terwijl de andere bussen in open circuit zijn:

(2.22)

Vanaf de lde rij kunnen we de relatie afleiden tussen de spanningen geïnjecteerd bij *k* en gemeten bij *l*:

2.4.2 Fast Fourier Transform

Net zoals bij de frequentiescan kan een FFT toegepast worden op de bekomen spanningen door een EMT-simulatie te gebruiken waarin een harmonische spanning wordt geïnjecteerd bij bus *k* en de spanning wordt gemeten bij bus *l*.

2.5 Berekening van de versterking van de achtergrondharmonischen

In [10, 28, 18] worden methoden voorgesteld om de versterking van de achtergrondharmonischen als gevolg van een netinvesteringsproject te berekenen.

In [10, 28] is de manier om spanningsversterkingen te berekenen als volgt. De spanning van een bepaalde locatie en een bepaalde harmonische, $\boldsymbol{U(h)_{ref}}$, wordt berekend door de bestaande nettopologie te gebruiken voor een stroominjectie van 1A op een welbepaald punt. Dezelfde spanning wordt berekend voor het net na de investering en uitgedrukt als $\boldsymbol{U(h)_{post}}$. De spanningsversterking wordt vervolgens berekend als:

$$G(h)=\frac{U(h)_{\text{post}}}{U(h)_{\text{ref}}} \blacksquare$$

(2.24)

Om de verwachte waarde van de harmonische spanning te berekenen, kan de versterking vermenigvuldigd worden met de spanning die gemeten wordt op die locatie. In [28] wordt hoofdzakelijk een radiale verbinding overwogen en slechts 1 stroombroninjectie.

De eerste optie die vermeld wordt in [18] is om de spanningsversterking voor een geïnjecteerde spanning achter een bepaalde netimpedantie te berekenen. Dit kan gebeuren door bv. gebruik te maken van een spanningsscan. Dit is bijvoorbeeld de aanpak die gevolgd wordt in [7]. In [18] wordt melding gemaakt van het feit dat deze optie vooral geschikt is voor radiale netten.

De tweede optie die vermeld wordt in [18] is om de spanningsversterking die eraan gelijkaardig is te berekenen, maar nu door meerdere harmonische stroominjecties (op verschillende locaties) te gebruiken. Voor elke stroominjectie wordt de spanning op een bepaalde locatie berekend (bv. $\boldsymbol{U(h)xy}$ genoemd waarbij x de bus is waar de spanning wordt berekend en y de locatie waar de stroom wordt geïnjecteerd). Gelet op het feit dat de relatieve fasen van de harmonische stroominjecties ongekend zijn, wordt de sommatiewet gebruikt, zoals die beschreven staat in IEC 61000-3-6:

(2.25)

Wel dient te worden opgemerkt dat, wanneer elke stroombron individueel wordt behandeld, $\boldsymbol{U(h)_{xy} = Z_{xy}I_y}$, of met andere woorden $\boldsymbol{U(h)_x}$, een veralgemeend middel is van de harmonische impedanties van de x^{de} rij door de geraamde amplitudes van de harmonische stroombronnen $\boldsymbol{I_y}$.

2.6 Implementaties in commerciële softwaretools

Tenzij anders aangegeven, zijn alle verwijzingen naar de berekeningsmethoden en modellen die teruggevonden worden in softwaretools gebaseerd op [29] en de onlinehelp voor PSCAD, de DigSilent-handleiding van 2019 [30] en de SinCal-handleiding van 2016 [31].

2.6.1 DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory biedt de mogelijkheid om harmonischen in het frequentiedomein te analyseren door middel van (i) een harmonische belastingsstroom en (ii) een frequentiezwaai.

De harmonische belastingsstroom berekent de stationaire oplossing voor spanningen en stromen bij een bepaalde frequentie, met inachtneming van harmonische stroom en spanningsbronnen. Harmonische bronnen kunnen in bepaalde componenten worden gedefinieerd. Op basis van de resultaten kunnen harmonische indices (bv. totale harmonische vervorming, …) worden opgevraagd als resultaat.

De frequentiezwaai berekent de 'ingangs'- en 'transfer'-impedanties in het frequentiedomein, alsook de respons van eender welke variabele op een stap- of impulsfunctie. De frequentiezwaai kan ook worden uitgevoerd voor een evenwichtige of onevenwichtige netwerkconfiguratie.

2.6.2 PSCAD

PSCAD biedt de mogelijkheid om harmonischen in het frequentie- of tijddomein te analyseren.

De frequentiescantool (Harmonic Impedance Solution/Frequency Scanner) die in PSCAD beschikbaar is, bouwt de systeemadmittantiematrix op louter op basis van de passieve elementen in het systeem. Verder gebruikt hij de volgende aannames:

1. Transformatoren en overspanningsbeveiligers werken in onverzadigde regio.
2. Van elektronische stroomtoestellen wordt verondersteld dat ze uit staan.
3. Machines worden vertegenwoordigd door een geaarde inductor.
4. De nulsequentie-impedantie van een SVC wordt weergegeven als een primaire delta lekreactantie van de transformator en de +/-sequentie-impedantie wordt vertegenwoordigd door het gedefinieerde shuntverliesgeleidingsvermogen.
5. De minimumfrequentie is 1 µHz.

Van de frequentiescantool wordt beweerd dat hij enkel rekening houdt met passieve elementen en niet met de effecten van controles (indien er zijn) [32].
Een benadering om controle-effecten op te nemen werd gebruikt in [32], waar de FFT-benadering zoals uiteengezet in sectie 2.2.3 werd gebruikt om de frequentierespons te bekomen.

2.6.3 SinCal

SinCal berekent eerst de admittantiematrix op basis van de inputs. Gebruik makend van deze admittantiematrix berekent hij de spanningen bij elk knooppunt voor elke frequentie, uitgaande van een ingangsstroom van 1A bij het zogenoemde referentieknooppunt *k*. De daaruit voortvloeiende impedanties $\boldsymbol{Z_{i,k}}$ worden teruggevonden als $\boldsymbol{U_i/I_k}$.

Modellen

Verschillende bronnen benadrukken het belang van een correcte modellering van het netwerk en de netwerkcomponenten. Een te conservatieve benadering kan aanleiding geven tot te strenge beperkingsmethoden die moeten worden toegepast, terwijl een te losse benadering kan resulteren in onvoorziene problemen, zoals aangegeven in [21] voor het ontwerp van harmonische filters voor HVDC-toepassingen.

Wat de netwerkmodellen betreft, moet met het volgende rekening worden gehouden [21]:

- Nauwkeurigheid van de gegevens van de netwerkcomponenten
- Beperkingen van impedantiemodellen van componenten in het frequentiedomein
- Schommeling van componentimpedanties naargelang van omgevings- en systeemomstandigheden.

Het frequentieafhankelijke karakter van de componentparameters (bv. transmissielijn of transformatorweerstand) moet in overweging worden genomen bij het uitvoeren van een harmonische analyse [23]. Daarom is het belangrijk om op te merken dat gegevens bij de fundamentele frequentie, hoewel deze over het algemeen gemakkelijk beschikbaar zijn, mogelijk onvoldoende zijn voor modelcomponenten met voldoende nauwkeurigheid voor het volledige frequentiebereik van de studie. In contrast hiermee moet de nauwkeurigheid van frequentieafhankelijke componentmodellen beoordeeld worden binnen het bereik van de studie [21].

In dit hoofdstuk worden de verschillende componentmodellen besproken en worden modelleringsrichtsnoeren geformuleerd. In overeenstemming met het toepassingsgebied van het project wordt de klemtoon gelegd op de modellering van passieve componenten en wordt het onderwerp van het modelleren van elektronische stroomvoorzieningscomponenten aangestipt.

3.1 Transmissielijnen

Zowel kabels als bovengrondse leidingen worden beschreven door gebruik te maken van telegraafvergelijkingen of golfvoortplantingsvergelijking, waarvan de oplossing frequentieafhankelijk is en vooral geschikt is voor de componentrepresentatie waarbij multipoortparameters worden gebruikt.

Figuur 3.1: Modelstructuur frequentiedomein (a) en tijddomein (b)

De spanning en stroom dalen langsheen een oneindig kleine korte lijn die kan geschreven worden als [33]:

$$\begin{aligned} d\mathbf{V}(x, m) &= \mathbf{Z}(M)\,\mathbf{I}(x, M), dx \\ d\,\mathbf{I}(x, m) &= \mathbf{Y}(M)\mathbf{V}(x, M), dx \end{aligned} \qquad (3.1)$$

op basis waarvan de golfvoortplantingsvergelijking geschreven kan worden als:

$$\frac{d\mathbf{V}^2(x,m)}{dx^2} = \mathbf{Z}(M)\mathbf{Y}(M)\,\mathbf{V}(x,M), \qquad (3.2)$$

$$\frac{d\mathbf{I}^2(x, m)}{dx^2} = \mathbf{Y}(M)\mathbf{Z}(M)\mathbf{I}(x, M). \qquad (3.3)$$

In bovenstaande vergelijkingen worden de serie-impedanties per eenheid en shuntadmittantie aangegeven door ***Z(w) = 5(w) + jwL(w)*** en ***Y(w) = G = jwC*** en zijn ze typisch frequentieafhankelijk. De spanning en stroom bij een welbepaald punt *x* langsheen de lijn kunnen als volgt uitgedrukt worden:

(3.4)

(3.5)

$$\mathbf{I}\,x(M) = e^{\sim\gamma l}\,\mathbf{I}\,f(M) + e^{\gamma l}\,\mathbf{I}\,b(M)\,\mathbf{V}x(M) = \mathbf{Y}c\,(e^{\sim\gamma l}\,\mathbf{I}f(M) - e^{\gamma l}\,\mathbf{I}_b(«)]$$

waarbij $\mathbf{Y}_c = \mathbf{Z}\,S/\mathbf{ZY}$ en $\gamma = \sqrt{\mathbf{ZY}}$. Dit levert een formaat op dat geschikt is om Norton-equivalente transmissielijncircuits af te leiden die verband houden met ingangs- en uitgangsspanningen en -stromen in een tijddomeinsimulatie:

(3.6)

(3.7)

$$\mathbf{I}o(m)=\mathbf{Y}c\mathbf{V}o(m)-\mathbf{H}(\mathbf{Y}c\mathbf{V}i(m)+\mathbf{I}i(m))$$

$\boldsymbol{I}i(m)=\boldsymbol{Y}c\boldsymbol{V}i(m)-\boldsymbol{H}(\boldsymbol{Y}c\boldsymbol{V}o(m)+\boldsymbol{I}o(m))$.

De oplossing voor de transmissielijnvergelijkingen kan ook geschreven worden als een relatie tussen ingangs- (verzendend einde) en uitgangs- (ontvangend einde) spanningen en -stromen:

$$\begin{vmatrix} \boldsymbol{V}i \\ \boldsymbol{I}i \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \cosh(\boldsymbol{y}l) & (\boldsymbol{Y}c)^{-1}\sinh(\boldsymbol{y}l) \\ \boldsymbol{Y}c\sinh(\boldsymbol{y}l) & \cosh(\boldsymbol{y}l) \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \boldsymbol{V}o \\ \boldsymbol{I}o \end{vmatrix}$$

(3.8)

wat een formaat oplevert dat geschikt is voor frequentiedomeinsimulaties

3.1.1 Modeltypes

Relevante informatie over het modelleren van transmissielijnen kan worden teruggevonden in Commercial [34, 3, 35]. Over het algemeen kunnen lijnmodellen ondergebracht worden in de categorie van frequentiedomeinmodellen (Fig.) en tijddomeinmodellen (Fig.).

Frequentiedomeinmodellen

Matrixformaat Afhankelijk van de analyse kan de frequentiedomeinrelatie uitgedrukt worden in het formaat van (3.8), ook gekend als de kettingmatrix, of in een admittantie-, impedantie- of hybride matrixformaat.

Equivalent PI-model Op basis van (3.8) kan een equivalent PI-model worden afgeleid waarin de serie-impedantie aangegeven wordt door en de shuntadmittantie aangegeven wordt door . Deze circuitweergave is een exacte weergave van de transmissielijn voor een welbepaalde frequentie [34].

Nominaal PI-model Het nominaal PI-model is een enkelvoudige frequentieweergave van het equivalent PI-model. De geldigheid van de benadering hangt af van de beoogde frequenties.

PI-cascademodel Het PI-cascademodel benadert het hyperbolische deel van de frequentieafhankelijkheid van de serie en de shuntadmittantie van het equivalente PI-model. Een steeds groter aantal cascadesecties kan de modelnauwkeurigheid verhogen in vergelijking met het nominale PI-model. Wel heeft dit model limieten, aangezien slechts gedeeltelijk met de frequentieafhankelijkheid rekening wordt gehouden [34].

Tijddomeinmodellen

PI-modellen Het nominale PI-model en het PI-cascademodel, zoals hierboven beschreven, kunnen geïmplementeerd worden voor tijddomeinsimulaties. Aangezien deze modellen geen tot een beperkte frequentieafhankelijkheid vertonen, kan het gedrag onjuist zijn voor tijddomeinsimulaties.

Bergeron-model Het Bergeron-model is een gedistribueerd parametermodel van het tijddomein met één enkele frequentie. Het vertegenwoordigt de transmissielijn via een verliesloze karakteristieke impedantie en een enkele voortplantingsconstante. De voortplantingsconstante heeft betrekking op de reisgolven aan het verzendende einde en aan het ontvangende einde. Het Bergeron-model kan rekening houden met verliezen door middel van geconcentreerde weerstanden [34].

Marti JMarti (of frequentieafhankelijk modusmodel, FD-lijnmodel) is een frequentieafhankelijk gedistribueerd parametermodel van het tijddomein [36]; Het maakt gebruik van een reële en constante (frequentieafhankelijke) modale transformatie die toegepast wordt op de voortplantingsconstante $e^{\gamma l}$ en een karakteristieke admittantie Y_c om hun tegenhangers in het modale domein te bekomen. Deze waarden in het modale domein kunnen samengevat worden door gebruik te maken van RC-circuits of worden aangepast door middel van rationele functies, zodat convoluties in het tijddomein op efficiënte wijze kunnen worden uitgevoerd. In een tijddomeinsimulatie worden zo eerst alle fasedomeinwaarden omgezet naar het modale domein, vervolgens wordt het lijnmodel uitgevoerd en worden modale domeinwaarden opnieuw omgezet naar het fasedomein. Dit model is enkel nauwkeurig voor geometrisch gebalanceerde transmissielijnen [29]. Een uitbreiding is het LMarti-model of FDQ-model, dat frequentieafhankelijke modale transformatiemodellen gebruikt.

ULM Het universeel lijnmodel (of frequentieafhankelijk fasemodel) is een frequentieafhankelijk gedistribueerd parametermodel van het tijddomein [37]. Het gebruikt rationele aanpassingen die rechtstreeks worden toegepast op de voortplantingsconstante en karakteristieke admittantie in het fasedomein. Het enige verlies aan nauwkeurigheid in dit model is dus te wijten aan de rationale aanpassing. Dit type model behoudt dus zijn nauwkeurigheid, zelfs voor configuraties van ongebalanceerde transmissielijnen. Dit model is het hedendaagse keuzemodel in commerciële tools van het EMT-type.

3.1.2 Bovengrondse leidingen

De serie-impedantie en shuntadmittantie van bovengrondse leidingen worden berekend door middel van routines van lijnconstanten op de torengeometrie en materiaalparameters van de geleiders en de aarde. De configuratie van bovengrondse leidingen en de berekening van de parameters worden in detail beschreven in [33, 29].

Modelleringsrichtsnoeren

De modelleringsrichtsnoeren voor transmissielijnen staan opgesomd in de CIGRE WG-brochures [38, 23] en in de standaard IEC TR 60071-4 [39]. In deze sectie wordt een samenvatting gegeven van de bevindingen in deze referenties op basis van de structuur die gegeven wordt in [23].

Transmissielijnmodel In frequentiedomeinstudies, aangezien het model niet veel bovengronds voorziet, zouden frequentieafhankelijke modellen altijd de voorkeur moeten krijgen wanneer gegevens gemakkelijk beschikbaar zijn. In afgelegen delen van het systeem of bij spanningsniveaus die lager zijn dan wat beoogd wordt, kan een nominaal PI-model ook voldoende nauwkeurigheid bieden [15, 40].

Skineffect Volgens [23] zou het skineffect altijd gemodelleerd moeten worden voor harmonische studies. Het skineffect kan opgenomen worden via vergelijkingen die gebaseerd zijn op de Bessel-functies [33] of door benaderingen die gegeven worden in [23]. Wanneer het skineffect wordt genegeerd, kan dit aanleiding geven tot onderschatting van demping in regio's met een hogere frequentie en als dusdanig bij resonantiefrequenties.

Aardweerstand Een gebruikelijke praktijk is om schommelingen van de aardweerstand met diepte te verwaarlozen om zo berekeningen te vereenvoudigen. Wel kan dit aanleiding geven tot fouten (vooral in het nulsequentie- of geaard terugkeermodel) waarvan men zich bewust zou moeten zijn. Voor lange circuits kunnen verschillende aardomstandigheden langsheen de lengte van de lijn in overweging worden genomen;

Gedistribueerde parametereffecten Er zou rekening moeten worden gehouden met gedistribueerde parametereffecten, behalve voor de kortste lijnen en voor bovengrondse lijnen die ver verwijderd liggen van de regio die beoogd wordt. Het richtsnoer dat gegeven wordt in [IEEE Taks Force] bepaalt dat geconcentreerde parameters enkel gebruikt mogen worden tot 240/***h*** km, waarbij **h** de beoogde harmonische volgorde is (en de fundamentele frequentie is).

Gemiddelde geleiderhoogte De gemiddelde hoogte van geleiders van bovengrondse leidingen wijzen uit dat deze een beperkte impact heeft op de harmonische circuitimpedantie [23].

Enkel- of meerfasige modellen Normatieve referenties suggereren het gebruik van meerfasige modellen daar waar er enige asymmetrie is in de constructie van de transmissielijn.

Modellen in commerciële software

PSCAD biedt tal van transmissielijnmodellen, waaronder het *nominaal PI-model, het Bergeron-model en de frequentieafhankelijke modus- en fasemodellen.* Het biedt een zeer modulair model van bovengrondse leidingen. Vanuit geometrisch oogpunt worden verschillende torenorganisaties aangeboden, aangegeven als: vlak (horizontaal als een vlak zonder aardingsdraden), verticaal, deltavormig (voor lijnen met minstens drie fasen), offset (minstens drie fasen), concentrisch (minstens drie fasen). Geleiders kunnen gebundeld worden in zowel symmetrische als asymmetrische subgeleiderpositioneringen. Op computationeel vlak worden zowel oplossingen met Bessel-functie als een verscheidenheid aan benaderingen aangeboden [29].

DigSilent PowerFactory DigSilent PowerFactory biedt (i) gedistribueerde parameters (equivalent PI-model) of geconcentreerde parametermodellen (nominaal PI-model), (ii) frequentieafhankelijke en frequentieonafhankelijke modellen en (iii) de mogelijkheid om meervoudige parallelle circuits te modelleren, met of zonder wederzijdse impedanties.

SinCal biedt geconcentreerde (nominale PI) en gedistribueerde (equivalent PI) parametermodellen. De inputs kunnen gegeven worden als frequentieafhankelijke nulsequentie en positiefsequentie serie-impedanties en shuntadmittanties.

3.1.3 Kabels

De serie-impedantie en shuntadmittantie van kabels worden berekend door middel van routines van kabelconstanten waarbij de kabeldoorsnede, de bekabelingsconfiguratie en de materiaalparameters van de geleiders, de isolatoren en de aarde worden gebruikt [3].

Kabels kunnen eenaderig of meeraderig zijn en kunnen rechtstreeks ondergronds of ondergebracht in leidingen worden geplaatst.

Modelleringsrichtsnoeren

Transmissielijnmodel In frequentiedomeinstudies zouden frequentieafhankelijke modellen altijd de voorkeur moeten krijgen wanneer gegevens gemakkelijk beschikbaar zijn. In verafgelegen delen van het systeem of bij spanningsniveaus die lager zijn dan hetgeen dat beoogd wordt, kan een nominaal PI-model ook voldoende nauwkeurigheid bieden [15, 40].

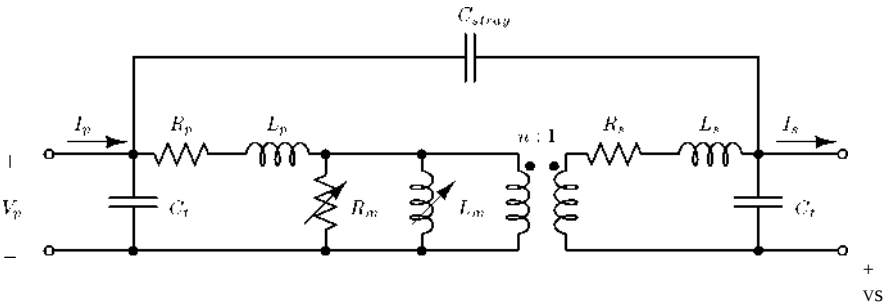
Skineffect Wat bovengrondse leidingen betreft, zou het skineffect gemodelleerd moeten worden voor harmonische studies. Het skineffect kan opgenomen worden door vergelijkingen die gebaseerd zijn op Bessel-functies [33].

Nabijheidseffect Met het nabijheidseffect zou enkel rekening moeten worden gehouden wanneer kabelgeleiders in de dichte nabijheid liggen, bv. in meeraderige kabels of in kabels die begraven zijn met korte afstanden tussen de

aders. Zowel het skin- als het nabijheidseffect kunnen van essentieel belang zijn aangezien ze aanleiding kunnen geven tot een sterke vermindering van de resonantiepieken.

Kenmerken van het kabelontwerp De kabelgeometrie en materiaalparameters van de geleidings- en isolatielagen zou zo gedetailleerd mogelijk moeten worden weergegeven. Aangezien de modellen mogelijk niet alle kabelkenmerken in detail omvatten, kunnen conversieformules, zoals diegene in [33], worden gebruikt.

Kabellay-out De kabellay-out, bv. ingraving in klaver- of vlakke formatie, zou zorgvuldig gemodelleerd moeten worden aangezien dit een impact heeft op de frequentie en de sterkte van de resonanties en op het aantal resonanties. Ze bepaalt ook of het kabelsysteem al dan niet gebalanceerd is.



Figuur 3.2: Enkelfasig equivalent transformatormodel (T-model)

Mantelverbinding Mantelverbinding beïnvloedt het resonantiegedrag van de kabel en zou in detail moeten worden gemodelleerd. De impedantie van de draadmantel kan een impact hebben op de sterkte van de resonantiefrequenties.

Gedistribueerde parametereffecten Wat bovengrondse leidingen betreft, zou het kabelmodel geselecteerd moeten worden op grond van de studievereisten. Het nominale PI-model kan gebruikt worden voor kortere kabels, terwijl voor kabels langer dan 2-5 km het gedistribueerde parametermodel gebruikt zou moeten worden.

Beschikbaarheid in software

PSCAD biedt frequentieafhankelijke kabelmodellen (*fase of modus*) met configuraties van zowel het pijpleidingtype als het coaxiaal groepstype. Het voorziet een aantal algoritmen met verschillende nauwkeurigheidsniveaus voor het uitvoeren van berekeningen. Het kan mantelverbinding in detail modelleren of 'ideale' mantelverbinding gebruiken. De laatstgenoemde optie is een benadering en kan aanleiding geven tot verschuivingen in het resonantiegedrag van de kabel. Wel moet worden opgemerkt dat het fasemodel altijd de voorkeur zou moeten verdienen boven het modusmodel, gelet op de aanzienlijke frequentieafhankelijkheid van de transformatiematrixen.

DigSilent PowerFactory biedt een frequentieafhankelijk kabelmodel (equivalent PI) met tot drie eenaderige kabels (elk tot drie geleidingslagen). Kabels kunnen gemodelleerd worden als rechtstreeks ingegraven of als kabels van het pijpleidingtype. Het ondersteunt berekeningen van de kabelparameters door gewijzigde Bessel-functies te gebruiken. Het ULM-model van de kabel wordt aangepast voordat de EMT-simulatie wordt uitgevoerd. Procedures worden ondersteund voor de raming van de karakteristieke impedantie $\boldsymbol{Z_c}$ benadering. De voortplantingsfunctie kan bij benadering aangepast worden of gebruik maken van de modale domein- of fasedomeinaanpassing.

SinCal biedt geconcentreerde (nominaal PI) en gedistribueerde (equivalent PI) parametermodules. De inputs kunnen gegeven worden als frequentieafhankelijk nulsequentie en positiefsequentie serie-impedanties en shuntadmittanties.

3.2 Transformatoren

3.2.1. Modeltypes

Transformatoren worden op verschillende manieren gemodelleerd. De hier beschreven transformatoren zijn het klassieke, het vereenvoudigde en het Unified Magnetic Equivalent Circuit (UMEC) model [12, 29].

Klassiek model

Het klassieke model van een transformator gebruikt een ideale transformator- of T-transformatorweergave. Afhankelijk van het ader- en spoelontwerp vertoont de stroom-fluxafhankelijkheid van de ader een verzadigingseffect. Verzadiging in geval van klassieke transformatorweergave wordt gemodelleerd ofwel als een variërende inductantie in

de hele spoel, ofwel met een compenserende stroombron in de hele spoel dichter bij de ader [29].

Het gewoonlijk gebruikte model dat gesuggereerd wordt in de CIGRE-brochure [23] wordt getoond in Fig. 3.2. De transformator uit Fig. 3.2 vertegenwoordigt een enkelfasig transformatormodel met twee spoelen. Hetzelfde model wordt beschouwd in de verschillende beoogde publicaties [12, 32].

Vereenvoudigd model

De gebruikelijke vereenvoudigde transformatorweergaves bestaan uit het serietransformatorequivalent dat wordt gedefinieerd door gebruik te maken van toegekend vermogen, lekinductantie en -verliezen. Fig. 3.3 toont de twee vaakst gebruikte modellen.

(a)
(b)

Figuur 3.3: Gewone vermogenstransformatormodellen: (a) uit [42, 23]; (b) uit [44, 43, 45]

Weerstand $\boldsymbol{R_s}$ is een serieweerstand, $\boldsymbol{X_h}$ wordt bepaald als frequentieafhankelijk in de veronderstelling dat lekinductantie $\boldsymbol{L_\sigma}$ constant is over het frequentiebereik [42, 43, 44]:

$$\boldsymbol{X_h = 2\pi h f_n L_\sigma} \tag{3.9}$$

De weerstand wordt anders gemodelleerd afhankelijk van de aanbevolen literatuur. Werk [42] suggereert $Rs = {}_{k}$ ~~$tX^{\wedge}$~~), $R_P = 10X^{h}\tan(0)$ en $<p = \exp(0.693 + 0.796\ln S_r - 0.0421(\ln S_r)^2)$. Een gelijkstroomweerstand is nodig voor het model in [44] waar $\boldsymbol{R_s = R_{DC}(1 + Ah^B)}$ is, met aanbevolen waarden $\boldsymbol{A = 0.1}$ en $\boldsymbol{B = 1.5}$. Het model uit [2] neemt kortsluitweerstand $\boldsymbol{R_t}$ en houdt rekening met het skineffect: $\boldsymbol{R_s = R_t (a_0 + a_1 h^b + a_2 h^2)}$, voor de conditie $\boldsymbol{a_0 + a_1 + a_2 = 1}$. Al deze modellen bieden een grote nauwkeurigheid, rekening houdend met het feit dat ze ontwikkeld zijn voor het modelleren van een welbepaalde transformator, m.a. w. de geldigheid van deze formules moet afgetoetst worden tegen metingen voor elke transformator. Ze tonen aan dat de weerstand kan worden gemodelleerd als lineair toenemend met de frequentie [23].

Dit type model kan uitgebreid worden tot een transformator met meerdere spoelen, bv. een transformator met drie spoelen. Als voorbeeld wordt het positieve en negatieve, en een nulsequentie-impedantie van een autotransformator met YNa0(d)-configuratie getoond in Fig. 3.4. In Fig. 3.4 verwijzen H, X en Y respectievelijk naar de hoogspannings-, laagspannings- en tertiaire spanningszijde. De lekimpedanties per eenheid kunnen bekomen worden vanuit de lekimpedanties per eenheid $\boldsymbol{Z_{HW}}$, $\boldsymbol{Z_{HY}}$ en $\boldsymbol{Z_{XY}}$, zoals bekomen door gebruik te maken van kortsluittests, en impedantie om $\boldsymbol{Z_g}$ te aarden als [46]:

(3.10)

, en

(3.11)

waarbij $\boldsymbol{n}$ de spoeltransformatieratio is. Het fasedomeinmodel (of fysiek domeinmodel) kan afgeleid worden van deze sequentie-impedanties door gebruik te maken van de Fortescue transform.

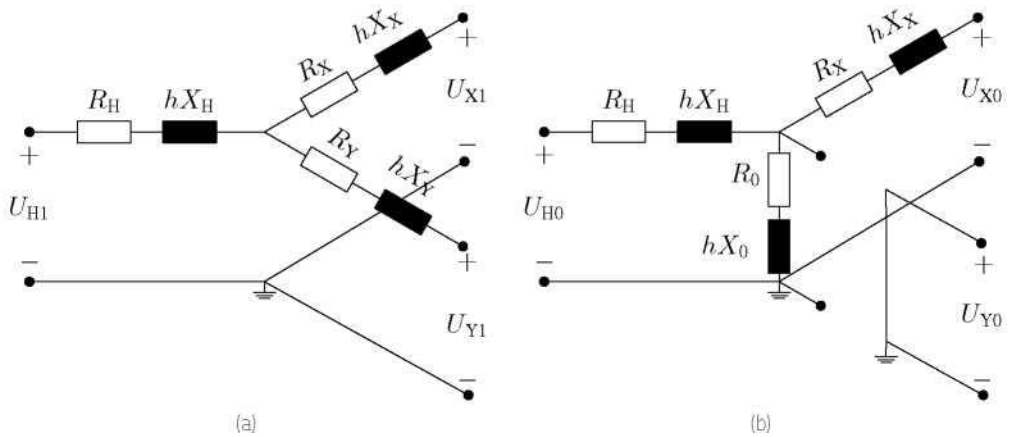
UMEC-model

Het UMEC-model beschrijft inductieve koppelingen volgens de fysieke configuratie van de magnetische kern van de transformator [12]. Het model wordt weergegeven met reluctantie R, magnetische stroom φ en magnetomotieve kracht. Dit model behandelt kernverzadiging op een andere manier door gebruik te maken van stuksgewijze lineaire techniek [29].

3.2.1 Modelleringsrichtsnoeren

Transformatormodel Het vereenvoudigde model is het voorkeursmodel voor de resonantieanalyses in [23]. Ingewikkeldere modellen, bv. zoals geïntroduceerd in [12], kunnen gebruikt worden wanneer de beoogde frequentie verschuift naar een hogere frequentieregio.

Zwerfcapacitantie van de transformator De zwerfcapacitanties van de transformator zouden opgenomen moeten worden in de studies boven 3 – 4 kHz [23, 32, 12].



Figuur 3.4: Transformatormodel met drie spoelen voor autotransformator met YNa0(d)-configuratie in positieve en negatieve sequentie (a) en nulsequentie (b).

Magnetiserende impedantie van de transformator De magnetiserende impedantie (***R_m*** en ***L_m***) kan in normale omstandigheden genegeerd worden. Wanneer de verzadiging van de transformator echter van het grootste belang wordt, kan het effect opgevangen worden door gebruik te maken van de stroombron in plaats van ***R_m*** en ***L_m***, wat zorgvuldig ontworpen zou moeten worden vanuit de stroom-fluxcurve [23]. IEEE std. 519 [20] zegt dat wanneer de transformator geen significante bron van harmonischen is, de magnetiserende impedantie verwaarloosd kan worden.

Tappositie van de transformator De tappositie beïnvloedt de lekreactantie en de transferimpedantie naar de andere zijde van de transformator. De lekweerstandvariatie kan de faseverschuivingen in resonante frequentie genereren. Het is aanbevolen de tapwijzigingen op te nemen in de harmonische studies [23].

Transformatorverliezen Er zijn twee belangrijke weerstanden: verliezen in de geleider (***C_u***-kernverliezen) en verliezen in de magnetische kern (***F_e***-verliesweerstand). Hoewel de weerstand van de transformator schommelt met de frequentie, zouden formules die hiermee rekening houden niet toegepast mogen worden zonder aftoetsing tegen de transformatormetingen [21]. In geval er geen metingen beschikbaar zijn, kan eerst de weerstand bij vermogensfrequentie gebruikt worden. In een tweede fase kan de gevoeligheid van de weerstand ten aanzien van de transformatorweerstand geanalyseerd worden door de harmonische resonanties te berekenen door gebruik te maken van een frequentieafhankelijke weerstand volgens een van de formules geïntroduceerd in [21]. Temperatuurschommeling heeft een impact op de weerstand van de transformator. Deze impact wordt evenwel als laag ingeschat en is dus van minder belang bij modellering [21].

Transformatorvectorgroep De vectorgroep van de spoelen van de transformator beïnvloedt het resonantiegedrag en er zou rekening mee moeten worden gehouden in het model.

3.2.2 Modellen in commerciële software

PSCAD

PSCAD ondersteunt zowel *klassieke* als *UMEC* transformatormodellen met verschillende spoelconfiguraties en saturatiemodellen. Met de frequentieafhankelijkheid van de parameters wordt geen rekening gehouden. In het standaard autotranformatormodel zijn koperverliezen niet inbegrepen. Zwerfcapacitanties worden niet ondersteund in de standaardmodellen.

DigSilent PowerFactory

Transformatoren worden gemodelleerd als het *klassieke* T-equivalent circuit voor de positieve en nulsequentie vanuit de vectorgroep, transformatorratio en de berekende hoeveelheden vanuit de open circuit- en kortsluitmetingen [47]. Zwerfcapacitanties, zoals weergegeven in Fig. 3.2, kunnen worden toegevoegd, alsook een frequentieafhankelijke nulsequentie-impedantie. Transformatoren met drie spoelen worden ook ondersteund.

SinCal

In SinCal worden transformatoren met twee spoelen gemodelleerd als pi-equivalente netwerken waarbij de serie-impedantie de kortsluitimpedantie is en de no-load verliezen verdeeld worden over de shuntadmittantie. De frequentieafhankelijkheid van de parameters kan opgenomen worden, bv. overeenkomstig de CIGRE-modellen die beschreven staan in [42]. Transformatoren met twee spoelen worden ook ondersteund.

3.3 Synchrone machines

3.3.1 Modeltypes

Over het algemeen geeft de literatuur aan dat synchrone machines gemodelleerd zouden moeten worden door middel van een seriecircuit van een weerstand en reactantie, aangepast aan de harmonische volgorde *h* (of *n*).

In [42] wordt aanbevolen om de synchrone machines te modelleren via hun subtransiënte reactantie $\boldsymbol{R_1}$ die gelijk is aan $\boldsymbol{0.1X'_{d'}}$. De reactantie en weerstanden stijgen met de harmonische volgorde $\boldsymbol{n}$ aangezien:

(3.12)

(3.13)

Deze vergelijkingen zouden met zorg moeten worden toegepast aangezien dit model mogelijk niet altijd toepasselijk is, zoals weergegeven op p 2-32 in [21]. Vooral met betrekking tot de weerstand kan het model bijzonder onnauwkeurig worden.

In [20, 48] wordt aanbevolen om machines weer te geven door middel van een reactantie die gelijk is aan de helft van de som van de subtransiënte reactantie van de directe en quadratuuras of de negatieve sequentiereactantie. De harmonische impedantie neemt toe met de harmonische volgorde

(3.14)

of

(3.15)

Er zijn alternatieve benaderingen gesuggereerd, bv. om een weerstandsvariatie te gebruiken die in verhouding staat tot $\boldsymbol{n^{\alpha}}$ met α binnen de vork van 0.5-1.5 [49].

3.3.2 Modelleringsrichtsnoeren

Modeltype De synchrone machine kan weergegeven worden door een reeks van een weerstand en een reactantie.

Reactanties IEEE Std 519-1992 [20] beveelt aan om machines te modelleren door middel van hun subtransiënte reactanties, waarbij het gemiddelde wordt genomen van de directe en quadratuuras. Reactanties zouden gemodelleerd moeten worden door middel van de volgorde van de harmonische frequenties. Dit wordt herhaald in IEEE Std 3002-2018 [48], waar ook de weerstand overeenkomstig (3.13) wordt aanbevolen.

Frequentieafhankelijkheid van weerstand Wat frequentieschommeling betreft, beveelt brochure [21] aan om fabrikanten te vragen naar gedetailleerde informatie wanneer een grote generator dicht bij het betreffende punt staat. Hoewel de modelleringsmethode voor frequentieafhankelijkheid van de parameters die hierboven staat vermeld een vereenvoudiging is, wordt ze algemeen aanvaard, gelet op nauwelijks beschikbare machinegegevens en problemen om meer gedetailleerde modellen in bestaande software op te nemen.

3.3.3 Modellen in commerciële software

DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory biedt het synchroon machinemodel ElmSym aan, waarin de machine weergegeven wordt door middel van een reactantie en een weerstand. In een frequentiezwaai wordt ze weergegeven door middel van een impedantiemodel met frequentieafhankelijke impedantiekenmerken. De inductantie bij fundamentele frequentie wordt berekend als het gemiddelde van de componenten ***d*** en ***q*** van de subtransiënte inductantie. De inductantie wijzigt met de harmonische volgorde zoals in (3.12). Bovendien kan een frequentieafhankelijk kenmerk gegeven worden aan de inductantie en weerstand.

PSCAD

Het synchroon machinemodel omvat zowel mechanische als elektrische onderdelen. Het biedt geen frequentieafhankelijkheid van zijn elektrische circuitparameters.

SinCal

Voor SinCal was er geen beschrijving van een standaardmodel voor synchrone machines.

3.4 Shuntcompensatie - reactoren

Reactoren worden gebruikt om het teveel aan reactief vermogen dat bv. gegenereerd wordt door kabels te absorberen.

In [21] wordt aanbevolen om gedetailleerde gegevens te verzamelen voor die shuntelementen in het netwerk die relevant zijn voor de studie (vooral die aangesloten dicht bij het beoogde punt. Met betrekking hiertoe kan het belangrijk zijn om inrush/outrush stroombegrenzers van condensatorbanken (indien aanwezig) te modelleren, alsook de resistieve verliezen van eventuele shuntreactoren in het model.

3.4.1 Modeltypes

Verzadigbare inductor met vaste verliezen

In [50] werden shuntreactoren gemodelleerd als een verzadigbare inductor met een parallel- en serieweerstand (met een vaste waarde) die respectievelijk ijzer- en koperverliezen weergeeft. Er dient te worden opgemerkt dat in een frequentiebeoordeling verzadiging niet mag worden opgenomen aangezien dit leidt tot niet-lineair gedrag.

Equivalent circuit met inductanties, weerstanden en capacitanties

In [12] wordt een equivalent circuitdiagram met inductanties en weerstanden, en inter-layer en layer cross-over capacitanties voorgesteld. Het bleek dat het model zonder capacitanties (louter inductief) nauwkeurig was tot 3 kHz, terwijl het model met capacitanties nauwkeurig is tot 10 kHz. De frequentieafhankelijkheid van de weerstand werd niet opgenomen en het bleek dat de modellen iets minder demping boden in vergelijking met de meetresultaten [12].

3.4.2 Modelleringsrichtsnoeren

Modeltype In het eenvoudigste geval kunnen shuntreactoren weergegeven worden door hun inductantie. In geval van reactoren dicht bij het beoogde punt kunnen verliezen weergegeven worden door een weerstand die in serie wordt geplaatst met de inductantie.

Capacitieve effecten In het lage frequentiebereik (bv. < 3 kHz volgens [12]) kunnen reactoren gemodelleerd worden als een inductief element, terwijl binnen het hoog frequentiebereik rekening moet worden gehouden met capacitieve effecten. Wanneer er hulpelementen aanwezig zijn, zouden deze ook moeten worden gemodelleerd. In [39] wordt verklaard dat shuntreactoren zich gedragen als inductoren binnen de frequentievorken voor TOV en dat capacitanties niet in overweging moeten worden genomen. Ook wordt verklaard dat verzadiging van de magnetiseringsinductanties, reststromen en -verliezen een belangrijke rol spelen in het genereren en dempen van tijdelijke overspanningen.

Resistieve verliezen Verliezen zouden opgenomen moeten worden wanneer gegevens beschikbaar zijn, hoewel bij lage frequenties een model met één enkele frequentie voldoende kan zijn. Wat de resistieve verliezen betreft, verklaart [6] dat deze slechts een beperkte impact hebben op resonanties maar aanzienlijk effecten hebben tijdens kabelactivering, ontlading en zero-miss.

3.4.3 Modellen in commerciële software

DigSilent PowerFactory

Het shuntelement (ElmShunt) in DigSilent PowerFactory biedt de mogelijkheid om een RL-, RC- of RLC-shunt te modelleren. Het element kan op verschillende manieren geconfigureerd worden (verbindingen). Voor harmonische analyse kunnen frequentieafhankelijke kenmerken aan de RLC-parameters gegeven worden. Het shuntelement houdt geen rekening met capacitanties, met uitzondering van een capacitantie om te aarden in bepaalde configuraties.

PSCAD

Naast basiscomponenten (zoals inductoren en weerstanden) is geen model voor een shunttoestel beschikbaar in de PSCAD-bibliotheek. Dit zou door de gebruiker moeten worden aangemaakt.

SinCal

Shuntreactoren kunnen in SinCal gemodelleerd worden door middel van Inductive Shunt Branches.

3.5 Passieve belastingen

Belastingen spelen een belangrijke rol in de harmonische analyse. Afhankelijk van het type kunnen ze hetzij wel (bv. resistieve belastingen) hetzij niet (bv. inductieve belastingen) voor demping zorgen voor een bepaalde harmonische frequentie. CIGRE WG B4.47 [21] beweert dat, hoewel gegevens over belastingen mogelijk moeilijk te verkrijgen zijn, het onjuist is te veronderstellen dat, bij afwezigheid van belastinggegevens, er een conservatieve of veilige beoordeling van netwerkharmonischen wordt uitgevoerd. Wanneer belasting wordt verwaarloosd, kan de demping zoals verwacht afnemen maar kunnen de resonantiefrequenties van het netwerk, vooral van low-order harmonischen, ook verschuiven. IEEE Std. 519 [20] beschrijft het belastingsmodel als een van de belangrijkste elementen in de weergave van het transmissiesysteem.
Hoewel belasting een belangrijke rol speelt, wijst de literatuur er in het algemeen op dat er geen 'universeel en generisch harmonisch belastingsmodel' is [21, 42, 45]. Twee punten zullen bijzondere uitdagingen stellen voor het modelleren van de belasting, namelijk:

1. De mate van modelleringsdetail met betrekking tot spanningsniveaus onder het spanningsniveau van het systeem dat wordt bestudeerd zal bepalen wat wordt beschouwd als 'belasting', en vandaar ook het belastingsmodel. Wanneer een aanzienlijk deel van het 'lower-level' netwerk gemodelleerd wordt voor een harmonische impedantiestudie van het EHV-netwerk, 'wordt de frequentierespons op een welbepaalde bus niet significant beïnvloed door het model van de belastingen bij lagere spanningsniveaus' [40].
2. De beweegreden achter verschillende belastingsmodellen uit oudere bronnen is na verloop van tijd verloren gegaan, wat ervoor zorgt dat het niet mogelijk is de juistheid ervan te verifiëren [21].

Volgens CIGRE TB 766 worden belastingen onderverdeeld in lineaire belastingen en niet-lineaire belastingen. Het statische deel kan vrij nauwkeurig gemodelleerd worden overeenkomstig parameters die berekend zijn bij fundamentele frequentie, terwijl dit voor de roterende delen niet geldt. Niet-lineaire belastingen worden vaak geassocieerd met vermogenselektronische belastingen en de brochure maakt melding van problemen om deze correct te modelleren.

In transmissiestudies kunnen belastingen worden samengevoegd volgens een bottom-up benadering of een top-down benadering. Een geaggregeerd model is het resultaat van het samenvoegen van gedetailleerde componentmodellen. In de top-down benadering wordt het belastingsmodel afgeleid op basis van zijn gedrag, bv. door middel van metingen.

Het doel van deze sectie is niet een volledig overzicht te geven van harmonische belastingsmodellen, maar eerder om te wijzen op de opties in de literatuur en de gevolgen die deze hebben. Een gedetailleerde vergelijking van belastingsmodellen wordt gegeven in CIGRE TB 766 [23].

3.5.1 Modeltypes

De soorten belastingsmodel hangen af van het transmissieniveau waarop de belasting is gemodelleerd: extreem hoge

spanning, hoogspanning, middenspanning of laagspanning.

Lineaire harmonische modellen van laag niveau

Lineaire harmonische belastingsmodellen van laag niveau bestaan meestal uit een opstelling van weerstanden en reactanties om het statische en roterende deel van de belasting te modelleren. Een overzicht van de belastingsmodellen die in de loop der tijd beschouwd zijn door CIGRE en IEEE wordt verschaft in CIGRE TB 766 [23]. Algemeen beschouwd wordt het statische deel gemodelleerd door middel van een parallel of serieel RX-circuit waarbij de circuitparameters bepaald worden op basis van de fundamentele frequentievermogensstroom. Het roterende deel wordt ook gemodelleerd door middel van een parallel of serieel RX-circuit, waarbij de parameters meestal frequentieafhankelijk zijn. Voor het roterende deel wordt aanbevolen om geen parameters te gebruiken die gebaseerd zijn op de fundamentele frequentievermogensstroom, maar door middel van een subtransiënte reactantie en een resistief equivalent waarbij de verliezen ervan worden gebruikt [21]. Verschillende (empirische) formules voor het deel $\boldsymbol{R}$ en $\boldsymbol{X}$ werden voorgesteld, ook op basis van metingen, maar de achterliggende beweegreden hiervoor kan in de loop der tijd verloren zijn gegaan [21].
Figuur 3.5: Lumped Equivalent Load Network van National Grid (a) en Scottish Power (b) [21]

Vergelijkingen van het modelleren van belastingen in de literatuur

In een eerste benadering [51] wordt de belasting bij het transmissieniveau gemodelleerd als een equivalent RL- of RC-circuit, dat wordt geplaatst aan de secundaire zijde van de transformatoren tussen het primaire netwerk (bestudeerde netwerk) en het secundaire netwerk (lagere spanningsniveaus). De parameters voor het RL- en RC-circuit wordt verkregen uit een belastingsstroom aan de secundaire zijde van de transformator. De parameters zijn frequentieonafhankelijk.

In [47] en [51] worden de harmonische impedanties die waargenomen worden aan de primaire en secundaire zijde vergeleken voor een vereenvoudigd circuit en een volledig circuit. De vergelijking toont aan dat:

- De vereenvoudigde equivalente circuits meer demping genereren bij de eerste resonantiepiek in vergelijking met gedetailleerde modellering aan secundaire zijde.
  - Er een frequentieverschuiving wordt waargenomen bij de eerste resonantiepiek.
- Voor grotere frequenties grotere verschillen worden waargenomen. Bijvoorbeeld sommige resonantiepieken zijn net aanwezig voor het vereenvoudigde circuit.

[6] meldt dat een serieel RL-circuit minder demping biedt in vergelijking met een parallel RL-circuit en vandaar kan leiden tot een conservatievere beoordeling.

Lumped Equivalent Load Networks

In [21, 23] worden geaggregeerde equivalente belastingsnetwerken met twee transmissieniveaus, zoals gebruikt door National Grid en Scottish Power, geïntroduceerd voor een harmonische belastingsanalyse (Fig. 3.5). In Fig. 3.5 omvat het model een geconcentreerde capacitantie ($\boldsymbol{C_{cap}}$), die de totale kabelcapacitantie weergeeft bij bus L1, een geconcentreerde transformatorreactantie samen met een dempingsweerstand R, die alle transformatoren vertegenwoordigt die aangesloten zijn tussen L1 en het laagspanningssysteem en de klanten die aangesloten zijn op laagspanning. De laagspanningsbus wordt weergegeven door een resistieve belasting en een capacitantie om PF-correctie weer te geven. Motoren kunnen parallel worden geschakeld met de resistieve belastingen en worden gemodelleerd door middel van een reeksimpedantie van zijn subtransiënte reactantie en een weerstand die gelijkwaardig is met zijn verliezen. Het model van Scottish Power is vergelijkbaar met het model van National Grid, maar de parameters worden op een andere manier berekend. Het is belangrijk op te merken dat alle parameters afhangen van de belastingssamenstelling, het belastingsniveau en de parameters van het distributiesysteem.

3.5.2 Modelleringsrichtsnoeren

Van belastingen wordt gezegd dat ze een groot dempingseffect hebben, zelfs bij lage belastingsniveaus. In [21, 23] is vastgesteld dat het verwaarlozen van belasting aanleiding kan geven tot te conservatieve resultaten.

Op basis van de literatuur zijn de volgende richtsnoeren geformuleerd:

1. Op basis van de literatuur zou minstens het primaire systeem volledig in detail moeten worden gemodelleerd en zou aandacht moeten worden besteed aan het secundaire systeem. Het bleek dat het soort transmissielijnen een invloed heeft op de resonantiepieken [51].

2. Equivalente belastingen die op het secundaire deel van het downstream netwerk worden geplaatst: ***RL***-circuits van verschillende soorten leiden over het algemeen tot soortgelijke resultaten, terwijl een geconcentreerd equivalent belastingsnetwerk meer resonantiepieken vertoont, aangezien in dit geval capacitanties ook worden gemodelleerd [23]. In het laatste geval evenwel zou het optreden van deze resonantiepieken geverifieerd moeten worden door middel van metingen.

3. Equivalente circuits die op twee netwerken downstream worden geplaatst: het belastingsequivalent heeft geen significante invloed op de resonantiepieken die worden waargenomen in het primaire systeem [23].

Figuur 3.6: Belastingsimpedantie 2 model in DigSilent

4. Wanneer gedetailleerde en nauwkeurige informatie over de belastingssamenstelling beschikbaar is, raden we aan deze in detail te modelleren.

5. RL- of RC-circuits gebruiken die rechtstreeks aangesloten zijn op het secundaire deel van de transformatoren die verbonden zijn met het primaire systeem (bv. wanneer simulaties worden versneld), kan bevredigende resultaten opleveren in een eerste beoordeling maar zou met de nodige omzichtigheid moeten worden gebruikt aangezien demping kan worden overschat, resonantiefrequenties verschoven kunnen zijn en bepaalde resonantiepieken mogelijk niet waargenomen worden [15].

3.5.3 Modellen in commerciële software

DigSilent PowerFactory

In DigSilent PowerFactory zijn modellen beschikbaar voor 'algemene belasting', 'complexe belasting', 'middenspanningsbelasting', 'laagspanningsbelasting' en 'gedeeltelijke belasting'.

Het 'algemeen belastingsmodel' telt drie verschillende opties:

- Het impedantiemodel 1 kan belastingen modelleren als een serieverbinding van een inductantie en weerstand of als een parallelverbinding van een inductantie en een capacitantie. De RL- of RC-parameters zijn frequentieafhankelijk en worden berekend vanuit een voorgaande belastingsstroom.

- Het impedantiemodel 2 modelleert belastingen in een vergelijkbare structuur als het SP geconcentreerd equivalent belastingsnetwerk (Fig. 3.6). **De transformator wordt enkel gemodelleerd door middel van zijn lekweerstand**.

- Het stroombronmodel modelleert de belasting als een constante stroombron waarvoor de stromen berekend worden op basis van een belastingsstroom.

Het 'complexe belastingsmodel' is een combinatie van een statische belasting en een inductiemotor. Het statische deel is een parallel ***RX***-circuit met spanningsafhankelijke parameters. Het dynamische deel is een vereenvoudigd asynchroon motormodel. Voor dit type kunnen de parameters frequentieafhankelijk zijn.

De 'middenspanningsbelasting' is een impedantiemodel achter een transformator. De transformator wordt gemodelleerd door middel van zijn serie-impedantie. De belasting is een serieel ***RL***-, parallel ***RC***- of gecombineerd ***RL***-circuit met een parallelle condensator.

De 'laagspanningsbelasting' wordt weergegeven als een RX-equivalent circuit, een impedantie die ofwel inductief ofwel capacitief is. Het inductieve circuit is een seriecircuit, terwijl het capacitieve circuit een parallel circuit is.

PSCAD

PSCAD biedt de mogelijkheid om belastingen te implementeren als (i) een combinatie van standaard R, L en C componenten, (i) een 'vast belastingsmodel' en (iii) een frequentieafhankelijk netwerkequivalent.
In een harmonische analyse wordt het 'vast belastingsmodel' weergegeven door middel van een parallel ***RL***- of ***RC***-circuit, berekend op basis van de fundamentele frequentie. Het 'vast belastingsmodel' in PSCAD wordt aangeboden als een spannings- en frequentieafhankelijk belastingsmodel, met ***P*** en ***Q*** in de vorm van

(3.16)
(3.17)

(3.18)

Een vergelijking van een frequentiescan van een belastingsmodel met een frequentiescan van een RL-circuit met R en L die berekend zijn op basis van fundamentele frequentie levert evenwel dezelfde resultaten op.
De frequentieafhankelijke netwerkequivalentcomponent is een component met meerdere poorten die een equivalent belastingscircuit kan vertegenwoordigen, zoals hierboven beschreven. De component benadert de ingangsparameters met rationale functie, door gebruik te maken van Vector Fitting. De ingangsparameters kunnen in vele vormen worden gegeven, inclusief een frequentiescan of netwerkparameters (bv. impedantie, admittantie, verstrooiing).

SinCal

SinCal biedt de mogelijkheid om het belastingsmodel van CIGRE WG 36.05 op te nemen met de parallelle RX- en X-tak (model van France EDF).

3.6 Frequentieafhankelijke weerstand

Het skineffect zorgt ervoor dat de weerstand van verschillende componenten (transformatoren, generatoren, shuntreactoren) wijzigt naargelang van de frequentie. In de literatuur zijn verschillende benaderingen voorgesteld. Een veel voorkomende benadering is om [21] te gebruiken:

$$R_h = R_0 n^{\alpha}, \qquad (3.19)$$

waarbij R_h en R_0 de weerstand zijn bij volgorde n en 0 en α afhangt van de netwerkcomponent die moet worden gemodelleerd (bv. 0.5-1.5 voor het synchroon generatormodel).

Er werden alternatieve benaderingen gesuggereerd aangezien (3.19) demping kan overschatten bij lage volgordes en demping kan onderschatten bij hoge volgordes [21]. Er dient te worden opgemerkt dat alle benaderingen enkel zouden mogen toegepast worden met het frequentiebereik waarvoor ze geldig zijn.

3.6.1 Modellen in commerciële software

DigSilent PowerFactory

DigSilent PowerFactory biedt het gebruik aan van drie methodes, inclusief frequentieafhankelijkheid van weerstand (of zelfs inductantie en capacitantie). Er kan ofwel een polynomiale (ChaPol) of een door gebruikers gedefinieerde tabel (TriFreq en ChaVec) worden gebruikt.

Het polynomiale kenmerk $y(f_h)$ is een vermenigvuldigingsfactor voor de fundamentele frequentieweerstand:

, (3.20)

waarbij f_h en f_l respectievelijk de harmonische en fundamentele frequentie zijn en a en b frequenties zijn die door de gebruiker kunnen worden gedefinieerd.

Het frequentieafhankelijke kenmerk kan toegepast worden op bv. lijnonderdelen, machineonderdelen (synchroon, asynchroon), shuntfilters, spanningsbronnen, complexe belastingen, transformatoronderdelen.

PSCAD

PSCAD lijkt geen standaardroutines aan te bieden voor het opnemen van frequentieafhankelijke weerstanden, behalve voor de frequentieafhankelijke netwerkequivalent.

SinCal

SinCal biedt vier opties voor het instellen van frequentieafhankelijk gedrag: (i) geen frequentieafhankelijkheid, (ii) R-constante, (iii) X/R-constante en (iv) impedantiekenmerken.

3.7 Actieve componenten (vermogenselektronisch)

Volgens [23] houdt de recente verspreiding van op convertors gebaseerde toestellen de noodzaak in om rekening te houden met zowel harmonische emissies als harmonische impedanties wanneer actieve componenten worden

gemodelleerd voor harmonische en resonantiestudies. De generische structuurmodellen zijn de equivalentcircuits van Thévenin en Norton. Bijgevolg bestaan deze modellen uit een **harmonische spanning of stroombron** of een **harmonische impedantie of admittantie**. Wel dient te worden opgemerkt dat deze weergaven beperkingen hebben aangezien het lineaire weergaven zijn van toestellen die normaal een niet-lineair gedrag vertonen en waarvan kenmerken actief kunnen wijzigen met het niveau aan harmonischen. Actieve componenten introduceren in het bijzonder koppelingen die een weergave door het equivalente circuit kan vereisen:

- De koppeling tussen sequenties kan weergegeven worden door middel van een impedantie/admittantiematrix met sequentiekoppelingstermijnen;

- De koppeling tussen componenten met verschillende frequenties kan weergegeven worden door een harmonisch domeinmodel.

De daaruit voortvloeiende harmonische impedantie/admittantie dient rekening te houden met zowel:

- De passieve elementen die de actieve component verbinden met zijn netwerk (LCL-filter, vermogenstransformator enz.);

- De controlelussen (binnenste controlelussen, buitenste controlelussen, actieve filter enz.).

Beide aspecten beïnvloeden het harmonisch gedrag van de component. Het staat ook vermeld in [23] dat extra werk vereist zal zijn om robuuste modellen te ontwikkelen om het harmonisch model van het frequentiedomein aan te passen aan de geselecteerde controlestrategie en aan het operationeel punt van de component.

Op convertors gebaseerde windopwekking

De bovenstaande overwegingen pleiten voor de modellering van op convertors gebaseerde windopwekking. De harmonische impedantie van convertors en filters zou opgenomen moeten worden bij het modelleren van WTG's van type 3 en type 4. Daarom wordt het gebruik van Thévenin/Norton-equivalenten aanbevolen in plaats van de benadering van constante stroombron. Er zouden gedetailleerde WTG-modellen die deze elementen opvangen, opgevraagd moeten worden bij verkopers om de nauwkeurigheid in harmonische studies waarbij windmolenparken betrokken zijn, te verbeteren.

Het harmonisch emissieprofiel van WTG's is een functie van het werkpunt. Het werkpunt in het slechtste geval bij elke harmonische volgorde wordt vaak gebruikt om een conservatief resultaat op te leveren, hoewel het ook mogelijk is om opzoektabellen in te voeren om het harmonisch gedrag op verschillende werkpunten weer te geven.

De equivalente harmonische impedantie is de totale uitgangsimpedantie van de convertor die de impact zou moeten omvatten van controles met gesloten lus. Elke andere passieve component (zoals de belangrijkste reactorimpedantie, passieve filters en turbinetransformatoren) moet opgevangen worden als onderdeel van de equivalente harmonische impedantie of expliciet als een externe component.

HVDC-convertors

Line Commutated Converter (LCC) In eerste instantie worden LCC HVDC-convertors vaak beschouwd als harmonische stroombronnen, waarvoor de harmonische stroomemissie niet varieert met de impedantie aan AC-zijde. Hoewel deze vereenvoudiging ongeveer juiste resultaten oplevert bij hoge harmonische volgordes, kan ze onbevredigend zijn voor lage volgordes, vooral voor de 3e harmonische. Daarom is een completer model nodig voor dergelijke harmonischen met lage volgorde:

Reactie vermogenscompensatietoestellen (omschakelbare filters en/of condensatoren) moeten worden gemodelleerd aangezien ze zullen interageren met de harmonische impedantie van het net. Er wordt aanbevolen om een waaier aan werkpunten, een status van filters en condensatorbanken te analyseren om ervoor te zorgen dat ze geen overmatige resonanties of harmonische vervormingen in het net introduceren.

Voltage Source Converter (VSC) Aangezien de harmonische generatie van VSC HVDC-stations meestal zeer laag is, is het normaal voldoende om een niet-consistente reeks van maximale harmonische spanningen te berekenen over het volledige bereik van de werking van de convertor en dit te gebruiken als de gemodelleerde harmonische generatie, weergegeven als een spanningsbron achter de interne harmonische impedantie van de convertor.

De harmonische impedantie van de convertor moet de passieve componenten (vermogenstransformator en eventuele filtering) omvatten, alsook de interne impedantie van de convertor.

Flexibel AC-transmissiesysteem

Flexibel AC-transmissiesysteemtoestellen (FACTS) genereren harmonischen afhankelijk van hun configuratie, controlestrategie en omschakelingsschema. Ze moeten naar behoren gemodelleerd worden voor harmonische / resonantiestudies. Aanbevelingen voor modellering worden hieronder besproken voor Static Var Compensators (SVC's) en STATCOM's. Dit zijn de twee meest voorkomende LLC-gebaseerde en VSC-gebaseerde FACTS-toestellen.

Statische Var Compensator (SVC) In de praktijk variëren SVC-configuraties van het ene project tot het andere, maar over het algemeen kunnen ze een thyristor gecontroleerde reactor (TCR), een thyristor geschakelde condensator (TSC), laagspannings- en/of hoogspannings-AC-filters en een transformator bevatten. Het harmonisch emissiespectrum van SVC's houdt verband met thyristor gebaseerde convertortechnologie. In deze technologie worden harmonischen gegenereerd als gevolg van de niet-lineaire aard van de thyristorschakelingen. Bovendien hangt het harmonisch emissiespectrum af van het werkpunt van het toestel.

Aanbevelingen rond modellering zijn om de TCR weer te geven als een harmonische stroombron met haar harmonische impedantie, terwijl de andere componenten weergegeven worden door hun harmonische impedantie. Om rekening te houden met de afhankelijkheid van het werkpunt van het toestel, moeten de harmonische bronemissies en de harmonische impedanties bepaald worden voor alle mogelijke configuraties van de SVC (met de TSC aan of uit, met verschillende afvuurhoeken enz.).

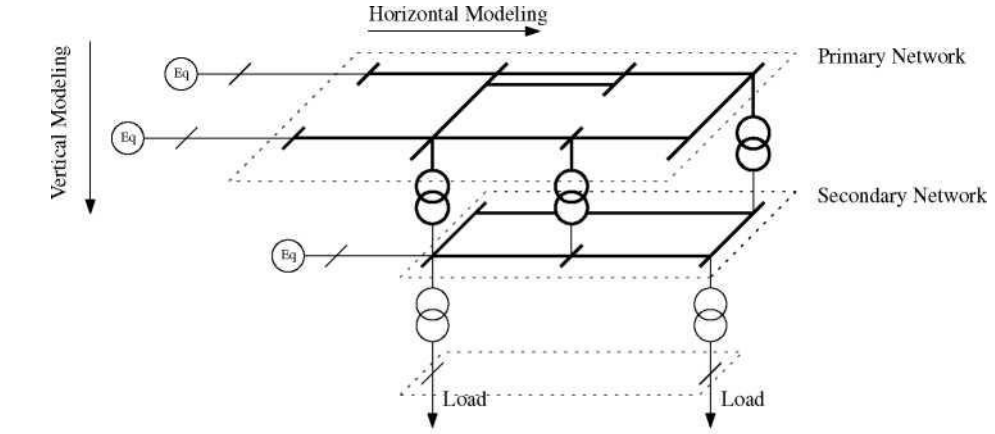


Figure 3.7: Network modeling level detail

STATCOM's De harmonischen die gegenereerd worden door STATCOM's hebben meestal een zeer lage magnitude. Ze hangen af van het werkpunt en zijn project/oplossingsspecifiek.

Aanbevelingen rond modellering zijn om de STATCOM weer te geven door middel van een actieve harmonische spanningsbron achter de interne harmonische impedantie van de convertor. Gelet op de lage magnitude van de gegenereerde harmonischen is het normaal gezien voldoende om een niet-consistente reeks van maximale harmonische spanningen te berekenen over het volledige bereik van de werking van de convertor.

Het harmonisch impedantiemodel moet niet enkel de passieve componenten van de STATCOM omvatten (bv. harmonische filter, seriereactor, step-up transformator), maar ook de interne impedantie van de VSC zoals gedefinieerd door de operationele modus, de transferfuncties van de controller en zijn overeenkomstige parameters. De harmonische impedantie is werkpuntafhankelijk in het lage frequentiebereik (binnen de bandbreedte van de interne stroomcontrolelus van de convertor).

3.8 Modelleringsdetail van het netwerk en netwerkequivalenten

Er zijn niet veel algemene regels om de omvang van het netwerk te definiëren dat in detail gemodelleerd moet worden en netwerkverkleining wordt voornamelijk doorgevoerd volgens het oordeel van de ingenieur. Volgens [23] worden systeemmodellen op volledige schaal in frequentiedomein gebruikt door de Franse, Deense, Ierse en Britse TNB's voor hun harmonische studies. Om het netwerk onder te verdelen in een hoofdstudiesysteem en externe onderling geconnecteerde systemen, kunnen gevoeligheidsmethoden, zoals beschreven in [52], gehanteerd worden

als analytisch instrument. Dergelijke gevoeligheidsstudies worden ook aanbevolen in [22], wat suggereert om dergelijke studies uit te voeren door de horizontale en verticale afstand (zie Fig. 3.7) van de gedetailleerde modellering geleidelijk te verlengen tot de frequentierespons van het netwerk (bv. van de aandrijfpuntimpedantie op het beoogde punt) niet op significante wijze verandert, terwijl prioriteit wordt gegeven aan elektrische componenten met hoge capacitieve onderdelen, bv. kabels.

Er bestaan twee mogelijkheden om netwerkmodellering te benaderen [15]:

1. Top-down benadering: In deze benadering wordt eerst een gedetailleerd referentienetwerk gemodelleerd. Kleinere netwerken worden gebouwd op basis van vereenvoudigingen in het referentienetwerk en de nauwkeurigheid ervan wordt afgetoetst tegen het referentienetwerk.

2. Bottom-up benadering: In deze benadering wordt eerst een klein deel van het netwerk dat onderzocht moet worden gemodelleerd (bv. tot twee of drie bussen vanuit het beoogde punt). Vervolgens worden modeldetails toegevoegd tot bepaalde prestatiecriteria (bv. het impedantiespectrum) niet langer significant wijzigen.

3.8.1 Detailniveau van het netwerk op hetzelfde spanningsniveau

Voor hoogspanningsniveaus beveelt de bestaande literatuur aan om minstens het volledig primair netwerk nauwkeurig te modelleren [45]. Het detailniveau van componenten hangt in feite af van: (i) de relatieve positie van een component ten aanzien van de beoogde bus en (ii) de relatieve groottes van de componenten [45]. De aanbeveling voor het nauwkeurig weergeven van het primair netwerk stamt van de lage elektrische afstanden die worden teruggevonden bij hoogspanningsniveaus. Een studie uitgevoerd door RTE [10] bevestigt dit aangezien enkel het volledige model van het 400 kV model de meest nauwkeurige resultaten opleverde. Andere studies uitgevoerd in EMTP-RV door de Franse TNB RTE op een model op volledige schaal van het Franse transmissiesysteem toont aan dat het gebruik van kleinere modellen die het netwerk modelleren tot 1, 2 of 3 knooppunten weg van de studiepunten resulteren in significante wijzigingen van zowel de magnitude als de frequentie van resonanties [53].

Om het modeldetail te bepalen, wordt het systeem meestal opgesplitst in drie zones: een studiezone (zone (i)), een oppervlaktezone (zone (ii)) en een diepe regio (zone (iii)). In de studiezone zouden de transmissielijnen weergegeven moeten worden door gebruik te maken van de meest nauwkeurige modellen (inclusief frequentieafhankelijkheid van parameters, gedetailleerde weergave van kruisverbinding van kabels). In de oppervlaktezone kunnen de transmissielijnen gemodelleerde worden door vereenvoudigde benaderingen te gebruiken, zoals Bergeron-modellen of nominale PI-secties. De diepe regio wordt gemodelleerd door een equivalent circuit van 50 Hz dat gebaseerd is op de kortsluitkracht van het externe net op dat punt. De achterliggende beweegreden is dat hoogfrequentieverschijnselen een hogere demping vertonen dan laagfrequentieverschijnselen. In [23] wordt verklaard dat een extern netwerk (diepe regio) weergegeven zou moeten worden als een equivalent van een vermogensfrequentienetwerk, maar enkel wanneer het geen resonanties heeft binnen het beoogde frequentiebereik of wanneer het zo ver weg ligt dat het geen impact heeft op de frequentierespons bij de beoogde bussen.

De grens tussen de drie zones is niet duidelijk gedefinieerd en wordt meestal geval per geval op empirische wijze bepaald. Zoals geïmplementeerd wordt door de Spaanse en Franse TNB's in [40] en [54], kan het equivalent van het frequentieafhankelijk netwerk bekomen worden door eerst het netwerk horizontaal uit te breiden, te beginnen met het hoogste spanningsniveau, en vervolgens het netwerk verticaal uit te breiden tot lagere spanningsniveaus tot de netwerkimpedantie geen significante verandering vertoont [23]. Toepassingen van deze benadering geven aan dat de studiezone kan worden uitgebreid tot 7 lagen in het primair netwerk [40]. Een toepassing van dit principe in [15] geeft aan dat de zone (i) verlengd wordt tot drie bussen vanaf het beoogde punt (m.a.w. de lijn die moet worden bestudeerd), terwijl de zones (ii) en (iii) kunnen starten vanaf twee tot drie bussen vanaf het beoogde punt.

.

3.8.2 Frequentieafhankelijke netwerkequivalenten

Resonantieanalyse

Het equivalent van een frequentieafhankelijk netwerk zou gebruikt moeten worden telkens wanneer het (gemodelleerd) netwerk (i) een resonantie heeft binnen het beoogde frequentiebereik of (ii) wanneer het dicht bij de beoogde bus ligt [23]. Bovendien zou het equivalent van het frequentieafhankelijk netwerk alle wijzigingen moeten weergeven in zijn frequentierespons, bv. als gevolg van topologische veranderingen in het extern netwerk.

Versterking van achtergrondharmonischen

Om het berekenen van de beoogde harmonische impedantie voor alle mogelijke externe netwerkimpedanties te vermijden, is het een gebruikelijke praktijk om enkel rekening te houden met bepaalde externe netwerkimpedanties op basis van een enveloppe van deze externe netwerkimpedanties opgebouwd in een R-X-diagram. Dit laatste diagram geeft de harmonische impedanties van het extern netwerk weer als een functie van harmonische volgorde in het R-X-vlak. De harmonische impedanties kunnen gegroepeerd worden in enveloppes (die verschillend kunnen zijn voor verschillende harmonische volgordes) om zo de grenswaarden te bepalen voor de netwerkimpedanties die moeten worden beschouwd. Hoewel volgens [21] elk netwerk geval per geval bestudeerd zou moeten worden, worden enkele richtsnoeren gegeven om het aantal berekeningen te beperken.

Bijvoorbeeld in [7] wordt het 400 kV netwerk weergegeven door een Thévenin harmonische impedantie die bepaald wordt op basis van een gedetailleerde weergave van dat netwerk. Aangezien de harmonische impedantie wijzigt bij wijzigende netwerkomstandigheden, werd een groot aantal harmonische impedanties beschouwd.

De discrete punten op een impedantieveelhoek geven enkel de harmonische impedantie weer van het netwerk bij één harmonische frequentie en daarom zouden ze enkel mogen worden gebruikt voor het berekenen van harmonische impedanties bij de frequentie waarbij ze werden geëvalueerd.

3.8.3 Detailniveau van het netwerk voor alle spanningsniveaus

De literatuur verdeelt de netwerken onder studie onder in het 'primair netwerk' en het 'secundair netwerk' [42]. Het primair netwerk is dat deel van het netwerk dat op hetzelfde spanningsniveau zit als het verschijnsel/de component onder studie. Het secundair netwerk bevat alle andere delen van het stroomvoorzieningssysteem. Als voorbeeld, voor een EHV-studie bij 380 kV is het primair netwerk de EHV bij 380 kV en bestaat het secundair netwerk uit alle lagere niveaus.

De bestaande literatuur beveelt aan om te onderzoeken welk deel van het secundair netwerk in detail gemodelleerd moet worden [42]. In [45] wordt sterk aanbevolen om ten minste een deel van het secundair netwerk te modelleren en daar belastingsmodellen te plaatsen. In [51] werd waargenomen dat, wanneer belastingen rechtstreeks bij het secundair deel van de transformatoren in het primair netwerk worden geplaatst, er lichte verschuivingen worden veroorzaakt in de resonantiefrequenties, wat verhoogde demping oplevert.

3.8.4 Modelleringsrichtsnoeren

1. Een top-down modelleringsbenadering kan gebruikt worden wanneer gedetailleerde informatie beschikbaar is voor alle componenten van het netwerk en er een referentienetwerk, dat verkleind moet worden, opgebouwd kan worden. Een bottom-up benadering kan worden gebruikt wanneer deze informatie niet beschikbaar is en bouwt een kleiner netwerk op te beginnen vanaf het beoogde punt.
2. De omvang van het netwerk dat in detail gemodelleerd moet worden, moet geval per geval beoordeeld worden. Het netwerkmodel kan onverdeeld worden in drie zones met verschillende niveaus van modeldetail, zijnde de studiezone (bv. meest gedetailleerde transmissielijnmodellen), de oppervlaktezone (bv. minder gedetailleerde transmissielijnmodellen) en de diepe regio (netwerkequivalenten van 50 Hz).
3. De netwerkequivalenten van 50 Hz kunnen telkens gebruikt worden wanneer (i) het extern netwerk geen resonanties heeft binnen het beoogde frequentiebereik en (ii) het extern netwerk voldoende ver weg ligt van het beoogde punt.
4. Een extern netwerk dat niet beantwoordt aan de bovenstaande vereisten zou niet weergegeven mogen worden door een equivalent van 50 Hz, maar zou weergegeven moeten worden door het equivalent van een frequentieafhankelijk netwerk of harmonische impedantie. Dit frequentieafhankelijk netwerk of harmonische impedantie zou bovendien verschillende operationele scenario's moeten weerspiegelen (of ten minste de worst case-scenario's). Voor de worst case-scenario's kunnen de veelhoekenveloppes opgebouwd worden in het R-X-diagram en kunnen discrete punten voor elke harmonische genomen worden (rekening houdend met het feit dat de resultaten van de studie dan enkel geldig zijn bij de frequentie van de veelhoekenveloppe).

3. De omvang van het netwerk dat gemodelleerd moet worden voor alle spanningsniveaus zou geval per geval beoordeeld moeten worden. Zoals wordt geconcludeerd in Sectie 3.5, levert het modelleren van een deel van het netwerk bij een lager niveau en de koppeling van belastingen hieraan, nauwkeurigere resultaten op in vergelijking met het modelleren van belastingen rechtstreeks op het secundaire deel van de transformatoren die aangesloten zijn op het primair systeem. In een eerste beoordeling kunnen belastingen evenwel gemodelleerd worden als parallelle RL- of RC-circuits die verkregen zijn vanuit een vermogensstroomstudie [15].

3.8.5 Modellen in commerciële software

DigSilent PowerFactory

Het extern netmodel kan gebruikt worden om het net te modelleren op het punt na het nominale netwerk. Het extern netmodel wordt weergegeven door een RL-impedantie, die frequentieafhankelijke parameters kan aannemen. De frequentieafhankelijkheid van de parameters kan beschreven worden door een polynomiaal of een vector (teneinde rekening te houden met het skineffect) [DigSilent-handleiding pag. 820].

Het instrument om het netwerk te verkleinen dat geboden wordt in DigSilent PowerFactory is enkel geschikt voor berekeningen van belastingsstromen of kortsluitingen. In het eerste geval behoudt het de gevoeligheden.

PSCAD

PSCAD biedt een frequentieafhankelijk netwerkequivalent, zoals vermeld in Sectie 3.5.3. Het frequentieafhankelijk netwerkequivalent berekent de equivalentimpedantie die wordt waargenomen vanuit dit bus en past deze aan door gebruik te maken van Vector Fitting-technieken.

SinCal

SinCal biedt de component 'Harmonisch resonantienetwerk' die de netwerkimpedantie berekent bij elke frequentie. SinCal neemt als input een impedantiedomein in het R-X-vlak en berekent automatisch de minimale en maximale impedantie op basis van dit domein.

3.9 Samenvatting

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de modelleringsregels die beschikbaar zijn in de bestaande literatuur. De modelleringsrichtsnoeren voor componenten zijn samengevat in Tabel 3.1. Overeenkomstig het toepassingsgebied van het project is de klemtoon vooral gelegd op de passieve elementen en werden de eerste referenties rond vermogenselektronische componentmodellering geïntroduceerd.

In het hoofdstuk werd de bestaande praktijk voor het selecteren van de omvang van het netwerk dat in detail gemodelleerd moet worden, geïntroduceerd. Het bleek dat een dergelijke modelleringsoefening geval per geval uitgevoerd zou moeten worden en dat modellen gecontroleerd zouden moeten worden door middel van metingen. Meer details over de daadwerkelijke ontwikkeling en volledige validatie van een netwerkmodel voor resonantiestudies vallen buiten het toepassingsgebied van dit rapport.

[1]Vereenvoudiging die moet worden geverifieerd door gevoeligheidsstudies

Tabel 3.1: Aanbevolen modeltypes voor frequentiedomeinstudies

Component	Aanbevolen modeltype	Alternatieven[1]	Sectie
Bovengrondse leiding	Frequentieafhankelijk model (Equiv. PI of ULM)	Nominale PI (enkel voor verafgelegen lijnen of lijnen bij lagere spanningsniveaus)	3.1.2
Kabel	Frequentieafhankelijk model (Equiv. PI or ULM)	Nominale PI (enkel voor verafgelegen lijnen of lijnen bij lagere spanningsniveaus)	3.1.3
Transformator	Vereenvoudigd model	Klassiek model (voor f>2-3 kHz)	
		Frequentieafhankelijke weerstand (indien gegevens beschikbaar)	3.2.2
Synchrone generator	Serieel RL-circuit, R freq. afh., L Gebaseerd op dq-reactanties	R freq. Onafhankelijk voor eerste beoordeling	3.3.2
Shuntreactor	Serieel RL-circuit	L (indien geen gegevens beschikbaar over verliezen verafgelegen element)	3.4.2
Passieve belastingen	Parallelle RX-circuits, opgesplitst tussen statisch en roterend deel	Belastingen als RX-circuits op basis van vermogensstroom bij secundair deel van transformator	3.5.2
Actieve componenten (LCC-type)	Volledig model indien elektrisch dicht (vooral filters)	PQ-belasting indien elektrisch verafgelegen	3.7
Actieve componenten (VSC-type)	Passieve componenten en interne impedantie zoals gedefinieerd door controles	PQ-belasting indien elektrisch verafgelegen	3.7

. 4

4. Resultaatinterpretatie

In Hoofdstuk 2 werden verschillende berekeningsmethoden die gebruikt moeten worden in kabelresonantiestudies geïntroduceerd. Dit hoofdstuk gaat dieper in op de resultaten die elk van deze modellen opleveren, op de specifieke interpretatietechnieken die gepaard gaan met elke berekeningsmethode en op de vraag wanneer welke methode moet worden gebruikt.

Het hoofdstuk focust zich vooral op de frequentiescan en de analyse van de harmonische resonantiemodus. Een spanningsscan of een berekening van de harmonische achtergrondversterking zijn methodes die afgeleid zijn van de frequentiescan.

4.1 Eerste analyse

Een eerste analysemethode om een frequentie bij benadering te berekenen waarbij resonanties kunnen optreden, werd geïntroduceerd in Sectie 2.1, waarbij gebruikt wordt gemaakt van geconcentreerde parameters [1, 20]. In [1]. De auteurs suggereren dat, wanneer de frequentie bij benadering die berekend werd door gebruik te maken van deze methode – waarbij een inductantie wordt gebruikt die afgeleid is van het kortsluitvermogen van het aangesloten net en de totale capacitantie van de kabel — overeenstemt met een frequentie die lager is dan de 13e harmonische, meer gedetailleerde harmonische studies moeten worden uitgevoerd.

4.2 Frequentiescan

4.2.1 Theorie

De frequentiescanmethode die in Sectie 2.2 is geïntroduceerd, berekent het aandrijvingspunt (diagonale elementen van de impedantiematrix of de Thévenin equivalentimpedantie van het netwerk waargenomen vanuit die bus [48]) en transferimpedantie (off-diagonale elementen van de impedantiematrix) verbonden met een gekozen testbus bij elke frequentie binnen het beoogde frequentiebereik. Door gebruik te maken van het aandrijvingspunt en transferimpedanties kunnen serie- en parallelle resonanties als volgt worden geïdentificeerd: serieresonanties (***Z*** **=** ***R*** in (1.1)) worden gekenmerkt door 'dalen' in de magnituderespons van de impedantie, terwijl 'pieken' in de magnituderespons een parallelle resonantie aangeven (in (1.2), waarbij de fasehoek van de impedantie nul is voor beide soorten impedanties]2]. Zoals wordt aangetoond voor een eenvoudig circuit dat zowel serie- als parallelle resonanties bevat in [2] kan een serie-impedantie getriggerd worden door een prikkeling met een spanningsbron, terwijl een parallelle resonantie getriggerd kan worden door een prikkeling met een stroombron. Er wordt ook opgemerkt dat serie- en parallelle resonanties enkel een naamlabel zijn voor circuits die één enkele trillingsmodus bevatten. Voor een eenvoudig circuit dat zowel serie- als parallelle resonanties bevat, wordt de toepassing van de frequentiescanmethode gedemonstreerd in Fig. 4.1 [2]. Zoals hierboven uitgelegd, stemt het dal bij 3.5 kHz overeen met een serieresonantie ( ) en stemt een piek bij 5.03 kHz overeen met een parallelle resonantie ( ).

Figuur 4.1: Toepassing van de frequentiescanmethode op basis van het voorbeeld in [2]

Het toepassen van frequentiescans tijdens een resonantiestudie is vrij vanzelfsprekend en geeft een indicatie van de frequentie en demping van de resonantiepieken, maar de resultaten die verkregen worden van de frequentiescan geven niet veel informatie over de herkomst van de resonantie, m.a.w. welke apparatuur ze veroorzaakt of ertoe bijdraagt en welke locatie geschikt kan zijn voor het toevoegen van een filter om deze te temperen. Voor TOV-studies kan de frequentiescan gebruikt worden om de frequentieregio van de resonantiepiek en een indicatie van de demping bij die frequenties te bekomen. Daarom is het voor het beoordelen van TOV een gebruikelijke praktijk om gedetailleerde tijddomeinsimulaties uit te voeren na een frequentiescanstudie, waarbij wordt gefocust op de potentiële resonantieproblemen in het netwerk die aangegeven worden door de frequentiescan, zoals die was uitgevoerd door EirGrid voor het Ierse netwerk in [11]. De toepassingen die de frequentiescanmethode gebruiken, worden in detail uitgelegd in de volgende sectie.

4.2.2 Toepassingen in de literatuur

- In de tijdelijke overspanningsstudie waarbij het effect van serie- en parallelle resonanties voor een verhoogde penetratie van kabels in het systeem van Ierland, zoals gerapporteerd in [5], wordt geanalyseerd, worden frequentiescans uitgevoerd op verschillende netwerken om de resonantiefrequentie te vinden onder verschillende werkingsomstandigheden van het netwerk, alvorens gedetailleerde tijddomeinsimulaties worden uitgevoerd. De resultaten van de frequentiescans worden ook gebruikt om het ernstigste omschakelingsscenario te bepalen, door de frequenties te analyseren waarin een serie- of parallelle resonantie optreedt en deze frequentie te koppelen aan een omschakelingsevenement, bijvoorbeeld transformator inrush kiezen als het ernstigste geval wanneer de resonantiefrequentie in de buurt ligt van 100 Hz. Op het einde

worden de overspanningen geëvalueerd op basis van de resultaten van een tijddomeinsimulatie. Voor meer details over deze methode, zie Sectie 5.

- Frequentiescans worden gebruikt in [1] voor het bestuderen van de algemene tendensen die verband houden met kabelresonanties. De studie beschouwt een kabel die aangesloten is op een net, weergegeven door middel van een equivalentinductantie en -weerstand, die de sterkte van het net en de XR-verhouding weergeeft. In de studie worden de ingangsimpedantie (ingangsspanning van de kabel / ingangsstroom van de kabel), de transferfunctie (ingangsstroom van de kabel vs. de uitgangsstroom van de kabel) en de uitgangsimpedantie (ingangsspanning van de kabel / uitgangsstroom van de kabel) berekend. Er wordt geconcludeerd dat (i) een sterker net een verschuiving van frequentiepieken naar een hogere frequentie veroorzaakt, maar ook een toename van de magnitude van de pieken, (ii) het verlengen van de kabellengte de resonantiefrequentie verlaagt maar een daling van de magnitude van de pieken veroorzaakt als gevolg van de kabelweerstand, (iii) de gevoeligheid van de resonantiepiekmagnitudes voor de resistieve demping hoog is.

Er wordt geconcludeerd dat, aangezien de magnitude van de transferfunctie van de kabel vanuit het verzendende tot het ontvangende einde tijdens resonanties hoger is voor sterkere netten, dezelfde harmonische bron aan het verzendende einde zal resulteren in hogere harmonische stromen aan het ontvangende einde van sterkere netten.

- In [55] is de frequentiescan toegepast op een gewoon 10-bus netwerk en het Zwitserse EHV-netwerk als onderdeel van een studie over de ondergrondse aanleg van het Zwitserse stroomvoorzieningssysteem. De resultaten van de frequentiescan voor beide netwerken tonen aan dat met de introductie van kabels in het netwerk, de resonantiefrequenties tot een lager niveau worden gebracht.

- In [28] is een model van een windmolenparkverbinding gemaakt in software van het EMT-type, die gebruikt wordt om de harmonische achtergrondversterking te berekenen. Uit de tijddomeinvalidatie van het model tegen gemeten omschakelingsevenementen blijkt dat het model in staat is de gemeten golfvormen na te bootsen.

- In [7] worden problemen die veroorzaakt zijn door de 11e en 13e harmonische in het 15 kV-systeem op het eiland Anholt in Denemarken, geanalyseerd door middel van harmonische spanningstoenames, m.a.w. verhouding van de spanningen bij de 400 kV- en 15 kV-systemen voor een specifieke harmonische frequentie. Naast veldmetingen om de harmonische spanningstoenames te berekenen, worden frequentiescans uitgevoerd om de fase-impedanties die worden waargenomen vanuit de 400 kV-bus te berekenen en de harmonische spanningstoenames vanuit die bus naar de 15 kV-bus. Als gevolg werden de harmonische problemen in het 15 kV-systeem met succes gekoppeld aan een systeemresonantie in het 400 kV-systeem rond de 11e en 13e harmonische en stemden de berekende spanningstoenames nauw overeen met diegene die werden gemeten in het echte systeem.

- De toepassing van frequentiescans in [14] dat de toepassing van EHV-kabels in het Nederlandse netwerk bestudeert, gaat gepaard met twee criteria om de resultaten te interpreteren: de eerste frequentie waarin een resonantie optreedt, en het aantal resonantiefrequenties onder 2.5 kHz. Het resultaat van de studie is dat, met de introductie van kabels, een daling in de eerste resonantiefrequentie en een significante stijging van het aantal resonantiefrequenties onder 2.5 kHz worden waargenomen.

4.3 Analyse van de harmonische resonantiemodus

4.3.1 Theorie

De HRMA berekent eerst de admittantiematrix ***Y*** van het globale systeem bij een gewenste frequentie, wat gevolgd wordt door de berekening van de modale ontleding ervan. De diagonale matrix van eigenwaarden van ***Y*** wordt het belangrijkste punt van de analyse, het omgekeerde van wat wordt gedefinieerd als de modale impedantiematrix. De diagonale elementen van de modale impedantiematrix worden geanalyseerd bij de gewenste frequenties en mogelijke resonanties worden gedetecteerd als pieken in de modale impedanties.

De informatie die verkregen wordt uit de HRMA is bijzonder nuttig voor het lokaliseren van de herkomst van een resonantie en de bussen die bijdragen aan een resonantie (bv. om de locatie te bepalen waar een filter zou moeten worden geïnstalleerd om de resonantie te temperen). Deze informatie wordt verschaft door de participatiefactoren, die verbonden zijn aan de eigenvectoren van de admittantiematrix, die een indicatie geven van de participatie van verschillende bussen in een bepaalde modus. In contrast Hiermee is het moeilijk om de magnitude van de modale impedanties (m.a.w. het omgekeerde van de eigenwaarden van de admittantiematrix) te interpreteren, in die zin dat er nog geen verband is tussen de magnitude van de eigenwaarde bij de resonantiepiek en de ernst van een resonantie. Wel moet worden opgemerkt dat de HRMA enkel parallelle resonanties lokaliseert [27].

4.3.2 Toepassingen in de literatuur

- HRMA is toegepast op het Duitse EHV-systeem in [56]. Het bestudeerde systeem is samengesteld uit 268 knooppunten die enkel met elkaar verbonden zijn door middel van bovengrondse leidingen. In de studie zijn enkel de eerste 50 harmonische volgordes van belang. Dit is de reden waarom de auteurs kiezen om de zwerfcapacitanties van de transformatoren en de frequentieafhankelijkheid van de parameters van bovengrondse leidingen niet te modelleren. Zelfs al bevat het systeem geen kabels, dan nog kan deze toepassing gebruikt worden als een voorbeeld om te illustreren hoe de resultaten van de HRMA geïnterpreteerd kunnen worden. De auteurs berekenen de modale impedantiematrixen met een positieve en nulsequentie van het bestudeerde systeem onder lage (belastingen met een capacitief gedrag) en hoge belastingsomstandigheden (belastingen met een inductief gedrag). Aangezien enkel de resonantiefrequenties van belang zijn, wordt de maximale modale impedantie bij een specifieke frequentie berekend en worden geen verdere analyses met betrekking tot individuele resonanties uitgevoerd. Er is waargenomen dat de resonantiefrequenties onder beide omstandigheden in sterke mate afhankelijk zijn van de werkingsmodus van het systeem en de omschakelingsstaten van de transmissielijnen. Bovendien bleek dat de resultaten verkregen uit de impedantiematrixen met een positieve en nulsequentie verschillend waren, waarmee het belang wordt benadrukt van het uitvoeren van afzonderlijke resonantiestudies voor netwerken van het systeem met een positieve en nulsequentie. Er zijn aanzienlijke resonanties bij harmonische volgordes 23.8 en 45.4 waargenomen in de impedantiematrix met positieve sequentie tijdens werking met lage belasting. Aangezien de resonantie bij de harmonische volgorde 23.8 tussen de harmonische volgorde met negatieve sequentie 23 en de harmonische volgorde met nulsequentie 24 ligt, concluderen de auteurs dat een resonantie getriggerd kan worden wanneer harmonischen met een negatieve sequentie bij de 23e volgorde geïnjecteerd worden. Zo

beweren de auteurs ook dat de resonantie bij de harmonische volgorde 45.4 geprikkeld kan worden bij de 46e harmonische volgorde met positieve sequentie. Aangezien geen significante resonanties worden waargenomen bij de impedantiematrix met nulsequentie bij de harmonische volgorde 24, worden geen mogelijke problemen voorzien.

- In een soortgelijke studie met het Duitse EHV-systeem is aangetoond dat, naarmate meer bovengrondse leidingen in een sectie van het bestudeerde Duitse EHV-systeem vervangen worden door ondergrondse kabels, het aantal resonantiepieken binnen de eerste 25 harmonische volgorden toenemen en wordt een aanzienlijke afname waargenomen in de magnitude van de maximale modale impedantie [57]. Wanneer dit wordt vergeleken met de andere toepassingen in de literatuur, rapporteren de auteurs een gelijkaardige verschuiving in de resonantiefrequenties naar lagere frequenties, maar wel als uitzondering worden sommige pieken waargenomen bij hogere frequenties met de toename van de kabels. Er is geen analyse uitgevoerd over de magnitudes van de impedanties, de knooppunten die bijdragen aan de resonantiemodi of de frequenties waarbij resonanties optreden.

- De HRMA wordt toegepast op de hierboven vermelde studie over de ondergrondse aanleg van het Zwitserse stroomvoorzieningssysteem in [55], waarin het skineffect en de frequentieafhankelijkheid van de lijnparameters uitdrukkelijk worden gemodelleerd, maar de capacitieve en verzadigingseffecten van transformatoren worden verwaarloosd. Er zijn verschillende gevallen voor het vervangen van bovengrondse leidingen door ondergrondse kabels bestudeerd en hieruit blijkt dat, wanneer een bovengrondse leiding, die aangesloten is tussen knopen die sterk bijdragen aan de resonantiemodus, wordt vervangen door een kabel, er een significante daling van de resonantiefrequentie wordt waargenomen. Een gelijkaardige bevinding wordt gerapporteerd in [58], waarin het vervangen van bovengrondse leidingen door kabels in het IEEE 14-bus testnetwerk is bestudeerd.

4.4 Vergelijking van frequentiescan vs. HRMA

Om het conceptueel verschil te illustreren tussen de frequentiescanmethode en de HRMA, worden de toepassingen op een eenvoudig 4-busnetwerk weergegeven in respectievelijk Fig. 4.2 en Fig. 4.3. In de frequentiescanmethode wordt een kandidaatbus geselecteerd, worden harmonischen geïnjecteerd bij de gekozen kandidaatbus en worden de daaruit voortvloeiende aandrijvingspunten en transferimpedanties berekend om de resonanties te beoordelen. In de HRMA daarentegen stemt de analyse van de impedantie/admittantiematrix in het modale domein overeen met de prikkeling van een specifieke modus, die gemodelleerd kan worden als een gelijktijdige injectie van harmonischen bij verschillende bussen. De modale impedantie voor een specifieke modus is de daaruit voortvloeiende modale spanning gedeeld door de modale stroom. De modale spanning wordt over de bussen verdeeld op basis van de linker eigenvector $\boldsymbol{L}$.

In [27] worden zowel de frequentiescanmethode als de HRMA-methode toegepast op twee varianten van het IEEE 14-bus testsysteem: het oorspronkelijke netwerk en een gewijzigde versie van het IEEE 14-bus testsysteem, dat slechts één condensator overlaat bij bus 9. De frequentiescan wordt uitgevoerd door een stroom van 1.0 per eenheid te injecteren bij bus 9, dat het aandrijvingspunt en de transferimpedanties van het netwerk bij bus 9 oplevert. Hoewel het systeem is gewijzigd om slechts één element (condensator) te bevatten dat resonanties kan opwekken, is waargenomen dat het grootste deel van de berekende impedanties resonanties vertoont, waardoor het moeilijker wordt om de participatie van de bussen in de resonantieomstandigheid te identificeren. Wanneer echter de modale impedanties worden berekend, vertoont slechts één modus resonantie, die geïdentificeerd wordt als verband te houden met bus 9 eenmaal participatiefactoranalyse wordt toegepast. Vergelijkbare resultaten worden bekomen wanneer er meerdere condensatoren in het systeem zitten, m.a.w. het aantal modi dat resonantie vertoont is hetzelfde als het aantal condensatoren in het systeem en elke modus bevat slechts één resonantie.

Voor het oorspronkelijke IEEE 14-bus netwerk, wordt de magnitude van de maximale modale impedantie bij elke bus voor elke harmonische volgorde geëvalueerd in [27] om de 'kritieke modus' van het systeem te bouwen, die ook kan worden bekomen bij de grootste eigenwaarde van $\boldsymbol{Y^{-1}}$. Voor drie specifieke modi wordt de kritieke modus vergeleken met de impedanties van het aandrijvingspunt van de meest en minst deelnemende bussen. Uit de vergelijking blijkt dat de impedanties van de meest deelnemende bussen pieken vertonen die samenvallen met de pieken in de kritieke modus van het systeem en dat de bussen met de minste participatiefactoren die verbonden zijn aan een specifieke modus geen pieken vertonen bij de resonantiefrequenties van de modi.

Naast de toepassing ervan in resonantieanalyses van een stroomvoorzieningssysteem, worden de twee methodes vaak toegepast op resonantiestudies voor tractienetwerken. De toepassingen ervan worden vergeleken in [59], waarin de auteurs beweren dat de resultaten die verkregen zijn uit de frequentiescanstudie niet relevant zijn aangezien alle resonantiepieken en -dalen als even belangrijk worden beschouwd.

De twee methodes worden verder vergeleken in [55, 56, 60, 60]. Er wordt in [56] beweerd dat frequentiescananalyse ongeschikt en ondoeltreffend is voor het analyseren van de parallelle resonantiefrequenties van een systeem aangezien verschillende nodale impedantiecurves niet-identieke resonantiefrequenties opleveren, die niet gemakkelijk geïdentificeerd kunnen worden uit de analyseresultaten. In contrast hiermee beweren auteurs in [61] dat frequentiescananalyse de beste keuze is voor een grafische resonantieanalyse die een 'in een oogwenk een goed inzicht biedt van het gedrag van het systeem', en HRMA geschikt is voor gedetailleerde analyses om de resonantiebronnen te lokaliseren.

4.5 Conclusies

In dit hoofdstuk worden technieken om de resultaten te interpreteren die bekomen zijn door toepassing van de berekeningsmethoden die geïntroduceerd zijn in Hoofdstuk 2, besproken en met elkaar vergeleken. De volgende algemene aanbevelingen kunnen worden geformuleerd wat de interpretatie van de resultaten betreft:

- Een frequentiescanstudie kan, wanneer de modellering naar behoren is uitgevoerd, nauw overeenstemmen met de effectieve harmonische impedanties of spanningstoenames, zoals bv. getoond wordt in [28, 7]. Het bestaan van serie- of parallelle resonanties kan worden geïdentificeerd op basis van frequentiescanresultaten door respectievelijk dalen en pieken in de impedantie te identificeren. De frequentiescan biedt echter niet de mogelijkheid om de oorzaken van resonanties op te sporen.

- Anderzijds bieden de resultaten verkregen uit een HRMA-studie inzichten in de bussen die deelnemen aan de resonanties, terwijl informatie betreffende de toename van magnitudes geen duidelijke betekenis heeft. Ze werd gebruikt als een veelbelovend instrument om de frequentiescanresultaten aan te vullen en bijkomende informatie te verschaffen over de oorzaken van de resonanties. Uit de berekening van de eigenvectoren en participatiefactoren van de admittantiematrix blijkt dat de bussen die betrokken zijn in een specifieke resonantie en, in een verdere fase, de effecten van netwerkparameters op de magnitude en frequentie van de resonantie kunnen worden getraceerd.

Samengevat kan de frequentiescanstudie gebruikt worden om de magnitude van de aandrijvings- of transferimpedanties te beoordelen, om serie- en parallelle resonanties te identificeren en om de ernst ervan te beoordelen. De analyse van de harmonische resonantiemodus kan gebruikt worden om de bussen die aan een bepaalde resonantie deelnemen, te identificeren.

5. Frequentiedomeinbeoordeling van de ernst van kabelresonanties

5.1 Versterking van achtergrondharmonischen

Versterking van achtergrondresonanties/-harmonischen als gevolg van netresonanties kan aanleiding geven tot vervormde spanningsgolven of overmatige stromen in apparatuur.

De versterking van achtergrondharmonischen wordt meestal beoordeeld door toekomstige spanningsgolfvormen te vergelijken met referentiespanningsgolfvormen, zoals besproken in Sectie 2.5. In deze sectie beschrijven we de methoden voor harmonische beoordeling zoals door verschillende TNB's is gerapporteerd in de literatuur.

5.1.1 Huidige praktijk zoals gerapporteerd in de literatuur

RTE [10] focust op de versterking van spanningsharmonischen en gebruikt veldmetingen in combinatie met simulaties in EMTP-RV. Ze meten de lijn-tot-neutrale spanningsharmonischen in substations waar kabels zijn aangesloten, en dit gedurende enkele weken. De simulaties in EMTP-RV bestaan uit het simuleren van een basisgeval met de daadwerkelijke netconfiguratie en een 'toekomstig' geval waarin het nieuwe project is gemodelleerd. Volgens [28] wordt een ingangsstroom van 1A geïnjecteerd en worden spanningsgolfvormen voor beide gevallen bekomen voor elke frequentie (er wordt geen informatie gegeven over welke soorten golfvormen worden bekomen. Er wordt verondersteld dat dit is gebeurd door de frequentiescantool van EMTP-RV te gebruiken, wat leidt tot een stationaire frequentieoplossing). De spanningsgolfvormen op het beoogde punt worden vergeleken voor elke frequentie en een toename wordt berekend als (zie ook Sectie 2.5):

(5 1)

De gemeten harmonischen worden vermenigvuldigd met deze toename om het toekomstig harmonische profiel te berekenen. Om rekening te houden met onzekerheid wat de toekomstige parameters betreft, wordt een brede waaier aan parameters en scenario's overwogen (bv. zoals besproken in [28]). Om de computationele inspanning van opeenvolgende tijddomeinsimulaties te beperken, wordt het 400 kV net met delen van het 225, 90 en 63 kV netwerk (in totaal 4699 elektrische knooppunten) verminderd tot een frequentieafhankelijke netwerkequivalent. Uit de resultaten van de modelvalidatiefase blijkt dat de modellen nauwkeurig overeenstemmen met de metingen. RTE maakt melding van een onzekerheid van +- 10 Hz op de toenamefactoren [28].

Voor de harmonische spanningsvervorming gebruikt RTE een limiet van 4% van de nominale spanning. In de gevallen die gerapporteerd zijn in [28] leiden sommige scenario's tot de vijfde harmonische die een amplitude van 9% van de nominale spanning bereikt.

EnergiNet Energinet [7] gebruikt de spanningstoename om de versterking van spanningsharmonischen in het 400 kV netwerk naar het 15 kV netwerk te beoordelen. Ze hebben de spanningstoenames berekend door middel van DigSilent PowerFactory met de volgende modellen:

- Kabels: frequentieafhankelijke fasemodellen (beschikbaar in PowerFactory) met handmatige implementatie van kruisverbinding;
- Transformatoren en shuntreactoren: Enkel gespecificeerd dat ze frequentieafhankelijke parameters gebruiken;
- Windmolenparken: Thévenin-equivalent die transformatoren en filters omvat;
- Systeem van het eiland Anholt: Gedistribueerd systeem met lokale belastingen op het eiland als CIGRE belastingsmodel;
- 400 kV extern net: Thévenin-weergave waarbij de harmonische impedantie gebaseerd is op impedantieveelhoeken (300 punten per veelhoek per harmonische zijn gebruikt). Veelhoeken worden opgebouwd door gebruikt te maken van een harmonisch model van het Deense transmissienet.

De berekende toenames kwamen overeen met diegene die bekomen waren door gebruik te maken van metingen.

In [18] wordt een methode beschreven om de versterking van achtergrondharmonischen te analyseren voor verschillende netversterkingsprojecten. De stappen zijn:

- Een model bouwen (door gebruik te maken van de componentmodellering hierboven).

- Scenario's bepalen die onderzocht moeten worden (bv. verschillende belastingscenario's, maar ook verschillende filterconfiguraties).

- De injectiebronnen van harmonische stroom definiëren.

- De busspanningen voor elke individuele injectiebron van harmonische stroom berekenen.

- De IEC-summatiewet gebruiken om busspanningen die in de vorige stap berekend zijn, toe te voegen.

- De spanningstoename bij alle bussen voor elk van de netversterkingsprojecten berekenen, waarbij de spanning in het net voorafgaand aan de versterking als basisgeval wordt genomen. De spanningstoename vergelijken met het IEC 61000-3-6 planningsniveau.

- De scenario's naverwerken door gebruik te maken van een statistische analyse (bv. verdelen in percentagekwartielen en toenames verdelen in problematisch/niet-problematisch).

Energine berekent zo spanningstoenames voor elke harmonische en rangschikt deze in (i) significante versterking (toename > 2), (ii) mogelijke versterking (1.5 < toename < 2) en (iii) geen versterking (toename < 1.5). Daarbij overweegt het dat bestaande harmonische reeds 50% van de planningslimiet gebruiken.

5.2 Tijdelijke overspanningen (TOV) als gevolg van resonantie

5.2.1 Problemen verbonden aan TOV

Tijdelijke overspanningen kunnen aanleiding geven tot versnelde veroudering of permanente beschadiging van apparatuur. Ze worden gedefinieerd als overspanningen van een aantal cycli van de fundamentele frequentie tot enkele seconden. Het effect van de overspanningen hangt af van het type apparatuur [62]: (i) apparaten met een magnetische kern (bv. transformatoren of inductieve VT's) (ii) lineaire toestellen zonder kern (bv. stroomonderbrekers, condensatorbanken, …) en (iii) niet-lineaire overspanningsbeveiligingen. Voor het eerste type wordt het bestandvermogen van de TOV vooral bepaald door thermale beperkingen. De TOV veroorzaakt verhitting als gevolg van overprikkeling van de kern. Voor het tweede type wordt het bestandvermogen vooral bepaald door isolatieparameters (behalve voor condensatorbanken). Voor het derde type wordt het bestandvermogen van de TOV bepaald door energieabsorptievermogens. In [11] wordt geweerd dat de VT's de meest kwetsbare apparatuur zijn voor kortdurende TOV's (< 0.7 seconden) en overspanningsbeveiligingen de meest kwetsbare apparatuur zijn voor langdurige TOV's (> 0.7 seconden).

De algemene methode voor het beoordelen van tijdelijke overspanningen als gevolg van resonanties is om eerst een frequentiescan uit te voeren bij de beoogde bussen om zo omschakelingsscenario's te identificeren die ernstige overspanningen kunnen veroorzaken (bv. omschakelingsscenario's die leiden tot parallelle resonantiepieken in de buurt van 100 of 150 Hz). De omschakelingsscenario's worden bv. genomen als activering van een kabel/lijn uit beide richtingen (één onderbreker afsluiten) met een bepaalde configuratie (open/gesloten) van de schakelaar die de lijn die moet worden geactiveerd omringen. Daarna wordt een groot aantal tijddomeinsimulaties (bv. activering van een lijn of transformator) uitgevoerd op die omschakelingsscenario's die door de frequentiescan geïdentificeerd werden als problematisch en worden de resultaten naverwerkt om te beoordelen of er eventuele TOV-limiet is doorbroken.

5.2.2 Serieresonantie

In [3, 9] wordt de procedure om overspanningen als gevolg van serieresonanties te analyseren als volgt beschreven:

1. De ernstigste omschakelingsscenario's vinden (door beoordeling door ingenieurs, bv. door het selecteren van die topologieën waarvan verwacht wordt dat ze de meeste problemen opleveren);

2. De dominante frequentie vinden die vervat zit in de overspanning van de kabelactivering, door (Fourier-analyse van een) tijddomeinsimulatie of door raming door gebruik te maken van de kenmerken van de kabel;

3. De natuurlijke frequentie vinden van het serieresonantiecircuit;

4. Het verschil bestuderen tussen de twee frequenties, de dominante en natuurlijke frequentie;

5. De ernstigste omschakelingsscenario's simuleren wanneer de twee frequenties met elkaar overeenstemmen.

In stap 2 kan de dominante frequentie die vervat zit in de activeringsoverspanning bekomen worden door

gebruik te maken van tijddomeinsimulaties of ook via een raming door gebruik te maken van de lengte van de kabel ($f_n \approx vl\ (4 * l)$), of voor lange kabels, een formulering die teruggevonden wordt in de literatuur [4, 3]. In de laatstgenoemde formulering wordt de dominante frequentie berekend op basis van de aanname dat (i) de kabel een open einde heeft aan één zijde) en (ii) de dominante frequentie gekoppeld is aan een van de intersheath-modi in plaats van aan een coaxiale modus. Deze aanname wordt gerechtvaardigd door het feit dat, om een van de coaxiale modi te domineren, een kritieke frequentie zou moeten worden overschreden en dat deze frequentie voor 400 kV XLPE-kabels ongeveer 1000-1500 Hz bedraagt. De dominante frequentie houdt rekening met het kabelsysteem, alsook de bronimpedantie die verbonden is met het gesloten einde van de kabel. Een vergelijking van deze formuleringen met een geval dat gemodelleerd is in PSAC vertoonde een goede match.

In stap 3 wordt de serieresonantiefrequentie bekomen door gebruik te maken van een frequentiescan bij de bus die aangesloten is op de schakelaar die moet worden bediend. Om de verspreiding van de activeringsoverspanning tot het lagere spanningsniveau te bestuderen, kan de ingangsimpedantie die waargenomen wordt vanuit het primaire deel en de transferimpedantie die waargenomen wordt vanuit het primaire deel van de transformator naar het secundaire deel van de transformator gebruikt worden om een spanningsversterkingsfactor op te bouwen (de spanningsversterkingsfactor kan teruggevonden worden als de verdeling van de transfer- tot de ingangsimpedantie, m.a.w. gelijkaardig aan de spanningsverdeler). Wanneer deze factor hoog is, zal de overspanning bij lagere niveaus tijdens het omschakelen waarschijnlijk hoog zijn.

Er dient te worden opgemerkt dat de serieresonantiefrequentie afhangt van de systeemomstandigheden en daardoor verschillend kunnen zijn (binnen realistische bereiken) om de ernstigste overspanningen te beoordelen.

Uit een studie, uitgevoerd door Eirgrid [5] bleek dat serieresonanties over het algemeen niet problematisch zijn, zelfs al had TEPCO te kampen gehad met een transformatordefect tijdens de activering.

Voorbeeld Het circuit dat weergegeven wordt in Fig. 5.1 toont twee kabels, een net dat weergegeven wordt door een inductor en een circuit Z_{eq} bij een lager spanningsniveau. De bovenstaande stappen worden opeenvolgend besproken:

1. In dit voorbeeld wordt het 'ernstigste omschakelingsscenario' gekozen als activering van één kabel met de andere kabel buiten dienst.
2. In stap 2 wordt de dominante frequentie die vervat zit in de overspanning van de kabelactivering geraamd als $vl\ (4 * l)$.
3. In stap 3 wordt de natuurlijke frequentie van het serieresonantiecircuit berekend door middel van een frequentiescan bij bus 1. De serieresonantie wordt aangegeven door middel van een dal in de ingangsimpedantie.
4. In stap 4 en 5, wanneer het verschil tussen de frequenties van stap 2 en 3 laag is, zouden tijddomeinsimulaties moeten worden uitgevoerd. Hieraan voorafgaand kan de spanningsversterkingsfactor vanuit bus 1 naar bus 2 teruggevonden worden door de transferimpedantie vanuit bus 1 naar 2 te delen door de ingangsimpedantie bij bus 1. Wanneer de spanningsversterkingsfactor hoog is, zullen er waarschijnlijk overspanningen als gevolg van serieresonanties optreden.

Figuur 5.1: Voorbeeld van een netwerk voor de analyse van serieresonantie

5.2.3 Parallelle resonantie

In [3, 5] worden parallelle resonanties als gevolg van de activering van de transformator vanuit een zwak netwerk beschouwd als diegene die leiden tot zware overspanningen. In [3] wordt een procedure voor een vereenvoudig circuit beschreven voor het analyseren van deze overspanningen als gevolg van parallelle resonantie:

1. De natuurlijke frequentie vinden van het parallel resonantiecircuit;
2. De natuurlijke frequentie instellen op 100 Hz door de bronimpedanties aan te passen (of die waarden van de enveloppe van harmonische impedanties van het extern netwerk te nemen die leiden tot de laagste harmonische frequenties);
3. De ernstigste omschakelingsscenario's simuleren (activering van de transformator) met de natuurlijke frequentie van 100 Hz.

Deze procedure beschouwt de bronimpedantie als een inductor, waarbij de inductantiewaarde bepaald wordt op basis van het foute stroomniveau bij de bus waarop de kabel is aangesloten.

Een uitgebreidere versie van deze procedure is terug te vinden in [5], waar het grotere deel van het netwerk rond de beoogde bus is gemodelleerd. De resonantiefrequenties van het parallel resonantiecircuit worden berekend door gebruik te maken van een frequentiescan.

In [11] wordt een methode voor het beoordelen van de maximaal toelaatbare kabellengte gegeven. De procedure is als volgt:

1. Bouw van het netwerk: De 400, 275 en 220 kV worden in detail gemodelleerd (m.a.w. ruwweg in overeenstemming met de modelleringsrichtsnoeren die gegeven zijn in Hoofdstuk 3), terwijl delen van het 110 kV systeem ook gemodelleerd worden in software van het type EMT.
2. Keuze van het scenario: Er wordt een groot aantal scenario's in ogenschouw genomen, inclusief seizoensgebonden schommelingen.
3. Reactieve vermogenscompensatie: De shuntcompensatie wordt zodanig ontworpen dat stationaire spanningslimieten niet worden overschreden.
4. Frequentiescan: Er wordt een frequentiescan uitgevoerd om frequenties van potentiële resonantiepunten te identificeren.
5. Bepaling van de TOV-limiet: Op basis van de richtsnoeren van IEC en IEEE, worden TOV-limieten gedefinieerd voor apparatuur met magnetische kernen, lineaire en niet-lineaire apparatuur. VT's en overspanningsbeveiligingen bleken het meest kwetsbaar voor TOV.
6. Tijddomeinsimulaties voor de kritieke gevallen om te beoordelen of TOV-limieten zijn overschreden.

Om het aantal kabels in het systeem te verhogen, werden ook beperkingsmethoden zoals een getunede filter, in ogenschouw genomen. De frequentie van de getunede filter werd gekozen op basis van de frequenties die werden teruggevonden in de frequentiezwaai.

Om te bepalen welke gevallen beschouwd moeten worden voor tijddomeinsimulaties, wordt een harmonisch impedantiecriterium voorgesteld in [10] en in [18]. Het criterium in [18] is gebaseerd op een vereenvoudigde studie van de activering van transformatoren tegenover een RLC-circuit. De vereenvoudigde studie houdt rekening met probalistische aspecten met betrekking tot de activering van transformatoren. Op basis van de vereenvoudigde studie wordt een limiet voor de frequentiedomeinimpedantie opgebouwd voor elk van de harmonische frequenties. Deze limiet is gebaseerd op een 'global stress rate' die een indicator is die rekening houdt met de overspanningsstress op de transformator en de overspanningsbeveiligingen. In een tweede stap wordt de harmonische impedantie van het systeem dat verbonden is met de transformator bepaald. Wanneer de magnitude van deze harmonische impedantie hoger is dan het criterium op basis van de vereenvoudigde studies van de activering van transformatoren, dan wordt die topologie geselecteerd als een kandidaat voor verdere gedetailleerde tijddomeinstudies. Een gelijkaardige benadering rond drempels is terug te vinden in [18] waar verschillende drempelwaarden voor 100, 150 en 200 Hz (+- 10 Hz) worden gespecificeerd op basis van de kennis van het Deense transmissiesysteem. Deze drempelwaarden zijn respectievelijk 400, 600 en 2400 Ohm. Een ander criterium om te bepalen welke gevallen in overweging moeten worden genomen voor tijddomeinsimulaties gebruikt een index die gelijkaardig is aan de THD-index [63]. Het is belangrijk op te merken dat de RTE-benadering alsook de benadering die besproken wordt in [63] kennis vereist van het verschijnsel van activering van transformatoren, bv. door middel van een zeer betrouwbaar transformatormodel.

Om de dimensionaliteit van de resultaten van tijddomeinstudies betreffende tijdelijke overspanningen te verminderen, worden twee nieuwe indicatoren om tijdelijke overspanningen te kenmerken, geïntroduceerd in [64]. Deze indicatoren gebruiken de RMS-waarde van de overspanning alsook de piekwaarde. Ze zijn ontworpen om te helpen bij het beoordelen van TOV-profielen die verkregen zijn uit EMT-simulaties, door de tijddomeingolfvormen te verminderen tot deze twee indicatoren. De auteurs passen de methode toe in [65] voor een parametrische studie rond het ontwerpen van harmonische filters.

5.2.4 IEC 60007-1-4 rond TOV

IEC 60007-1-4 [39] bespreekt in Secties 8.2 en 8.3 een snelle (niet aanbevolen) en gedetailleerde berekening van tijdelijke overspanningen. Bij de gedetailleerde berekening van overspanningen wordt het frequentiedomein gebruikt om de gebeurtenissen die onderzocht moeten worden, te beoordelen en het tijddomein om de gebeurtenissen te simuleren en te analyseren.

5.3 Samenvatting

In deze sectie wordt de beoordeling van twee potentiële problemen besproken die verbonden zijn aan resonanties in het stroomvoorzieningssysteem, zijnde versterking van achtergrondharmonischen en tijdelijke overspanningen als gevolg van resonanties.

5.3.1 Versterking van achtergrondharmonischen

Om de versterking van achtergrondharmonischen te beoordelen, berekenen RTE en Energinet allebei spanningstoenames. RTE vermenigvuldigt de spanningstoenames met bestaande gemeten golfvormen om een raming van de absolute spanning te bekomen. Deze absolute spanning wordt vergeleken met een limiet van 4% van de golfvorm van de fundamentele spanning. Energinet classificeert de spanningstoenames en acht die boven 2 als problematisch. Daarbij beschouwt het de IEC 61000-3-6 planningsniveaus en gaat het uit van de veronderstelling dat 50% van het planningsniveau vanaf vandaag al bezet is (met dien verstande dat toenames boven 2 resulteren in harmonische spanningen die het planningsniveau overschrijden).

5.3.2 Tijdelijke overspanningen als gevolg van resonanties

Serieresonanties worden geïdentificeerd als dalen in impedanties van het aandrijvingspunt bij de bus. Een potentieel ernstige overspanning bij een lager niveau kan bestaan wanneer (i) bij het primaire systeem een overspanning wordt gegenereerd bij een bus als gevolg van serieresonantie en (ii) de frequentie van deze overspanning overeenstemt met de natuurlijke frequentie van het circuit van het lager niveau. In de literatuur zijn over het algemeen zeer weinig gevallen van dergelijke ernstige situaties gerapporteerd geweest.

Parallelle resonanties worden geïdentificeerd als pieken in impedanties van het aandrijvingspunt bij de bus. Een potentieel ernstige overspanning kan optreden wanneer er bijvoorbeeld een piek is gelokaliseerd bij een harmonische van ongeveer 100-200 Hz, zodat de activering van de transformator de parallelle resonantie kan prikkelen. De beoordeling van parallelle resonanties kan uitgevoerd worden door de respons van het frequentiedomein te vergelijken met een bepaalde drempel. De limiet voor deze drempel is gerapporteerd in de literatuur als (i) gebaseerd op operationele ervaring, (ii) gebaseerd op simulaties van de activering van transformatoren tegenover een vereenvoudigd circuit. Wel dient te worden opgemerkt dat verschillende waarden werden teruggevonden in verschillende bronnen, maar tussen die waarden werd geen duidelijke overeenstemming teruggevonden.

Er dient te worden opgemerkt dat over het algemeen de beoordeling van het frequentiedomein gebruikt wordt om potentiële probleemgevallen aan te geven, terwijl simulaties van het tijddomein worden gebruikt voor een volledige analyse van die probleemgevallen.

6. Beperkingsmethoden

In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van beperkingsmethoden zoals die zijn teruggevonden in de literatuur [22, 52, 63, 66, 67]

6.1 Beperking van harmonischen

Er bestaan verschillende methoden om problemen die verbonden zijn aan harmonischen te beperken [52]:

1. Het systeem ontwerpen om bestand te zijn tegen de effecten van harmonischen
2. Filters of andere beperkingstoestellen installeren in de buurt van de bron van de harmonischen
3. Het genereren van harmonischen verminderen door bijvoorbeeld de werking met hogere pulsaantallen te verhogen, actieve golfvormingstechnieken enz.

6.1.1 Systeemversterking / Isolatietransformatoren

Harmonische vervorming kan verminderd worden door de systeemimpedantie te tunen weg van eventuele parallelle punten [68], meestal door het systeem te versterken. Wijzigingen aan het systeem zou het gebruik van een vermogenstransformator kunnen inhouden. Dit zullen significantere projecten zijn met langetermijneffecten op het net en moeten grondig worden geanalyseerd.

In [69] stellen de auteurs voor bestaande shuntcondensatoren te verwijderen in locaties waar nieuwe kabels geïnstalleerd zullen worden omdat de kabel inherent reeds een hoge capacitantie heeft. Ook zou het vervangen van shuntcondensatoren met filters van het C-type bijkomende demping tot hogere frequenties kunnen toevoegen.

Ook kunnen isolatietransformatoren geïnstalleerd worden, bijvoorbeeld teneinde om te gaan met drievoudige harmonischen (die zijn oneven meervouden van de derde harmonische (3, 9, 15, 21)). .

6.1.2 Filters

Passieve Filters

Passieve filters kunnen een kostenefficiënte oplossing zijn om resonantieproblemen te verminderen, hoewel de bediening van het net complexer word ten de doeltreffendheid ervan kan afnemen wanner de netimpedantie wijzigt als gevolg van netuitbreidingen [68]. Het ontwerp van een passieve filter bestaat uit meerdere capacitieve en inductieve componenten die getuned zijn om te resoneren bij de gewenste frequentie of kunnen zelfs één enkele reactor zijn [68]. Een voorbeeld van een shuntfilter is een filter van het C-type die het voordeel heeft geen verliezen te hebben bij de fundamentele frequentie en betere prestaties heeft bij hogere frequenties. Bij extra hoge spanningen echter kunnen de fysieke afmetingen van de filtercomponenten bijkomende beperkingen vormen [65].

Bij het selecteren van de juiste filter zal een evenwicht moeten worden gezocht tussen kostprijs en doeltreffendheid. Gewoonlijk zal een niet-lineaire belasting verschillende harmonische produceren. Het is mogelijk één grote filter te installeren die de meeste vereisten van het systeem zal afdekken. Dit zou echter betekenen dat een veel grotere filter aanleiding zou kunnen geven tot aanzienlijk hogere kosten [52]. Er wordt geadviseerd om meerdere kleinere filters te installeren die getuned zijn voor de problematische harmonischen waarbij de totaal geïnstalleerde compensatie lager zal zijn dan wanneer één grote filter wordt gebruikt [52, 70].

De systeemimpedantie bepaalt het ontwerp van de passieve filter. Daarom, wanneer de systeemimpedantie wijzigt, is het mogelijk dat het ontwerp van de filter niet meer geschikt is. Voor grotere filters zou de demping van de weerstand ook het aantal verliezen in het systeem kunnen doen toenemen. Tot slot kan veroudering de resonantiefrequentie in de loop der tijd detunen.

Actieve Filters

Actieve filters worden meestal toegepast bij de bron van de harmonischen. Een actieve filter meet de harmonische vervorming in een stroomgolfvorm en genereert een gelijkstroom met een faseverschuiving van 180 graden om de vervormde spanning terug te brengen naar een zuiver sinusoïdaal signaal [52]. Actieve filters kunnen frequenties van de 2e harmonische tot de 50e annuleren en zijn in staat om de THD te verminderen tot minder dan 5% [71]. Actieve filters worden aangesloten in serie, shunt of een combinatie van beide. Shunt actieve filters worden vooral gebruikt voor stroomharmonischen, reactief vermogen en onevenwicht van belastingsstromen. Ze kunnen gemodelleerd worden als een stroombron. Serie actieve vermogensfilters elimineren harmonische spanningen en kunnen gemodelleerd worden als een spanningsbron.

Actieve filters schakelen de tekortkomingen uit van de passieve filters aangezien ze niet onderhevig zijn aan een verandering in de systeemimpedantie. Hoewel de technologie matuur is, ook voor

hoogspanningsnetwerken, zijn ze vaak duurder en houden ze een grotere complexiteit in (als gevolg van vermogenselektronische componenten en controles) in vergelijking met passieve filters. De meest gebruikelijke actieve filter is een STATCOM of SVC-compensator.

6.1.3 Harmonische injecties beperken

Door het instellen van hoge normen voor nutsbedrijven en industrieën om de harmonische injectie in het net te beperken, zou het risico op problemen tijdens resonantieomstandigheden kunnen worden beperkt. Dit gebeurt door het meten van de harmonischen die worden geproduceerd bij de bron van niet-lineaire belastingen of door componenten correct te ontwerpen zodat ze werken bij hun rated vermogensniveaus.

6.2 Beperking van tijdelijke overspanningen

Enkele veel voorkomende beperkingsmaatregelen die in de bestaande literatuur terug te vinden zijn om tijdelijke overspanningen te beperken zijn [22, 63, 66, 67]:

- De kabellengtes beperken zodat het impedantiespectrum bij de bus geen resonantiefrequenties heeft lager dan 150 Hz [6].
- De ratings van beveiligingsspanningen verhogen die strengere beperkingen veroorzaken op isolatiecoördinatie. Aangezien overspanningsbeveiligingen niet ontworpen zijn om bestand te zijn tegen relatief lange TOV's, is dit geen aanbevolen praktijk [6].
- Shuntfilters gebruiken om de resonanties met een lage frequentie te onderdrukken [11, 65].
- Omschakelingsscenario's vermijden die aanleiding kunnen geven tot TOV's, bv. door ervoor te zorgen dat alternatieve paden bestaan voor de activering van transformatoren die los staan van een kabelsysteem [22].
- Point-on-wave omschakeling of omschakeling van de weerstand door de hoek te controleren waarbij de stroomonderbrekers worden ingeschakeld of door een parallelle weerstand toe te voegen aan de onderbreker, kan de overspanningen verminderen [66].
- Neutrale aardingsreactor: hoewel de neutrale aardingsreactor het impedantiespectrum niet wijzigt, zou deze een verlagend effect op de overspanningen kunnen hebben [72].
- De systeembelasting verhogen: het verhogen van de systeembelasting zorgt voor meer demping in het systeem [22]. In [72] daalt de resonantiepiek van 16 kOhm naar 8 kOhm wanneer belasting aan het systeem wordt toegevoegd.
- De hoeveelheid klassieke generatie verhogen: het verhogen van de hoeveelheid generatie verschuift de resonanties weg van de lage frequentieregio (vooral tijdens zwarte start) [22, 63].
- De bronspanning verlagen: het verlagen van de bronspanning kan de inrush stroommagnitudes van de transformatoren verminderen [22, 63].

6.3 Praktische voorbeelden

Een casestudie over het EHV-net van Noord-Ierland vertoonde een parallelle resonantiepiek dicht bij de 2e harmonische voor een spanningsniveau van 220 kV wanneer 30 km ondergrondse kabels worden toegevoegd aan het bestaande systeem. De initiële tijddomeinsimulatie van omschakelingselementen toonde aan dat TOV voldoende was om schade te veroorzaken. Er zouden evenwel beperkingsstrategieën gehanteerd kunnen worden om de ernst te verminderen. De voorgestelde beperkingsstrategie was om een filter te implementeren die getuned was voor de resonantiepiek en die dicht bij de bron van de resonantieomstandigheid werd geplaatst. Dit resulteerde in een 50 Mvar high-pass filter met een getunede frequentie van 143 Hz. Na de implementatie van de filter bleek dat de TOV binnen aanvaardbare limieten lag [68].

In [65] wordt een parametrische studie rond het ontwerp van filters van het C-type uitgevoerd. Om de filters van het C-type te ontwerpen, passen ze de methode toe zoals die beschreven staat in 5.2.3. De auteurs concluderen dat ontwerpbeperkingen voor filters die toegepast worden bij 220 kV lager zijn in vergelijking met 380 kV. In het laatste geval zijn hogere filterratings (in termen van MVar) en hoge waarden voor dempingsresistoren nodig om TOV's voldoende te onderdrukken. Bijvoorbeeld, voor de 380 kV waren reactoren met inductanties van ongeveer 500-800 mH nodig terwijl in het 220 kV-systeem, de vereiste reactoren een inductantie hadden die

begon bij ongeveer 175 mH.

In [69] vergelijken de auteurs de doeltreffendheid van het gebruik van ofwel een STATCOM ofwel een filter van het C-type om de parallelle resonantiepiek bij de derde harmonische in een hoogspanningsnetwerk in de Verenigde Staten te verlagen. Frequentiescans van het netwerk toonden aan dat beide toestellen de impedantiepiek verschoven naar de 4e harmonische maar enkel de filter van het C-type de impedantie bij de 3e harmonische verlaagde. Een stijging van de impedantie van de 3e harmonische werd opgemerkt voor de STATCOM-oplossing na de originele piek (deze stijging was 'onderweg' voor de vierde piek). Er dient te worden opgemerkt dat voor deze studie de STATCOM niet was uitgerust met actieve filtering. De studie in [69] is gebaseerd om een die door KEMA is uitgevoerd in [17].

6.4 Samenvatting

Beperkingsmethoden om te gaan met versterking van achtergrondharmonischen en tijdelijke overspanningen als gevolg van resonanties geïntroduceerd door kabels, kunnen ondergebracht worden in verschillende categorieën, namelijk (i) het verschijnsel vermijden, (ii) het verschijnsel onderdrukken of (iii) de netcomponenten aanpassen aan het verschijnsel.

Voor de versterking van achtergrondharmonischen zijn de meeste beperkingstechnieken erop gericht het verschijnsel te onderdrukken, m.a.w. de injecties van harmonischen te beperken, filters te gebruiken of het systeem sterker te maken.

Voor tijdelijke overspanningen kan het beperken van de lengte van de kabels die in het systeem worden geïnstalleerd, het vermijden van bepaalde omschakelingsscenario's of het gebruiken van point-to-wave omschakeling (voor activering van transformatoren) gebruikt worden om het verschijnsel te vermijden. Het onderdrukken van het verschijnsel kan gebeuren door (i) filters te installeren, (ii) de belasting tijdens de omschakeling te verhogen, (iii) de traditionele generatie tijdens het omschakelen te verhogen, (iv) de bronspanning tijdens de omschakeling te verlagen. Om netcomponenten aan te passen aan het verschijnsel, kunnen overspanningsbeveiligingsratings verhoogd worden (hoewel dit in de literatuur niet wordt aanbevolen).

Er dient te worden opgemerkt dat bepaalde beperkingsmethodes kunnen zorgen voor een verhoogde complexiteit bij de bediening van het net (bv. filters toepassen) en kan interfereren met andere netverschijnselen (bv. wanneer het systeem wordt versterkt, leidt dit tot hogere kortsluitstromen of het aanpassen van overspanningsbeveiligingsratings kan interfereren met het beheer van overspanningen).

7. Voorbeeldcase

In dit hoofdstuk wordt een casestudie uitgevoerd om de berekeningsmethoden aan te tonen en om de frequentieverschuivingen te illustreren die verbonden zijn met de introductie van kabels in het systeem. De casestudie is geen volledige systeemstudie en de weergegeven resultaten hangen af van de hieronder vermelde aannames.

	De casestudie is niet representatief voor een volledige studie van de beoordeling van de versterking van achtergrondharmonischen of tijdelijke overspanning, maar vertegenwoordigt enkel de eerste stap. Volledige analysemethodes zijn geïntroduceerd in Hoofdstuk 5.
	Hoewel het testsysteem grote gelijkenis vertoont met het huidige net van Elia in West- en Oost-Vlaanderen, heeft de hier uitgevoerde studie beperkingen en zouden de studieresultaten niet gebruikt mogen worden voor andere doelstellingen dan het aantonen van berekeningsmethoden en voorlopige indicaties van verschuivingen in de frequentierespons van het net.
	De hieronder gebruikte modellen zijn vereenvoudigd. Voor een praktische studie zouden de richtsnoeren overeenkomstig hoofdstuk 3 moeten worden gebruikt.
	Hoewel in een praktische casestudie de shuntreactoren zodanig ontworpen zouden moeten zijn dat stationaire spanningslimieten niet worden doorbroken, is dit niet gebeurd in de impedantieanalyse.

In een voorbeeldcasestudie worden twee gevallen beschouwd:
Geval (i) In dit geval zijn de transmissielijnen tussen GEZEL380, IZGEM380 en AVLGM380 bovengrondse lijnen. Dit is het basisgeval.
Geval (ii) in dit geval zijn de transmissielijnen tussen GEZEL380 en IZGEM380 kabels, terwijl die tussen IZGEM380 en AVLGM380 bovengrondse lijnen zijn. In vergelijking met het basisgeval is een dubbel circuit van kabels (elk circuit met een lengte van 52 km) toegevoegd.

Uit de resultaten van het basisgeval (Fig. 7.1 en Fig. 7.2) blijkt dat

- De pieken in de sequentie-impedanties niet noodzakelijkerwijs samenvallen met de pieken in de diagonale elementen van de fase-impedanties. Dit is te wijten aan het feit dat de positieve sequentie-impedantie een combinatie is van on- en off-diagonale elementen (bv. vergelijk de fase-impedanties en positieve sequentie-impedantie rond $\boldsymbol{f}$ = 1000 Hz in Fig. 7.1a).

- Een frequentiescan bij een enkelvoudige bus levert mogelijk geen informatie op over alle mogelijke resonanties. Bijvoorbeeld de frequentiepiek in $\boldsymbol{Z_{44}}$ rond $\boldsymbol{f = 2000\ Hz}$ is niet zoals uitgesproken in $\boldsymbol{Z_{11}}$.

- Bussen met hoge participatiefactoren bij een bepaalde frequentie vertonen ook pieken in hun frequentiescan (bv. de positieve sequentie-impedantie van $\boldsymbol{Z_{88}}$ en participatiefactor PF_{8c} zijn gelijktijdig hoog rond $\boldsymbol{f = 1100\ Hz}$ in Fig. 7.4).

- De modale analyse geeft geen serieresonanties aan.

In de voorbeeldstudie toont de zelfimpedantie (met positieve sequentie) bij bus 1 van het basisgeval (Fig. 7.1a) verschillende resonantiepieken, bv. rond 140 Hz (piek 1), 655 Hz (piek 2) een piek rond 1005 Hz (piek 3). De zelfimpedantie met positieve sequentie bij bussen 2, 7 en 8 (Fig. 7.1b, c, d) tonen een piek rond 1200 Hz (piek 4). Voor piek 1 hebben bussen 8 en 9 een lagere participatiefactor. Piek 2 treedt ook opnieuw op in $\boldsymbol{Z_{10,10}}$ (niet weergegeven), en uit de modale analyse blijkt dat de participatiefactor voor bus 10 gekoppeld aan de modus bij 655 Hz de hoogste is. Voor piek 3 zijn de participatiefactoren van bussen 7 en 8 de hoogste, terwijl voor piek 4, bus

4 ook deelneemt (Fig. 7.2c). De serieresonantie waargenomen in $\boldsymbol{Z_{11}}$ (Fig. 7.1a) wordt niet weergegeven in de resultaten van de modale analyse (Fig. 7.2b).

Uit de vergelijking van frequentiescans voor $\boldsymbol{Z_{11}}$ van de verschillende gevallen, blijkt dat:

- Het verhogen van het aantal kabels in het net de frequentie vermindert waarbij de eerste resonantie optreedt (in dit geval van 150 Hz naar 9-100 Hz)

- Het verhogen van het aantal kabels aanleiding geeft tot een tweede piek binnen de frequentieregio onder 1000 Hz (ongeveer 700-800 Hz)

- Het verhogen van het aantal kabels aanleiding geeft tot meer frequenties waarbij serieresonantie kan optreden

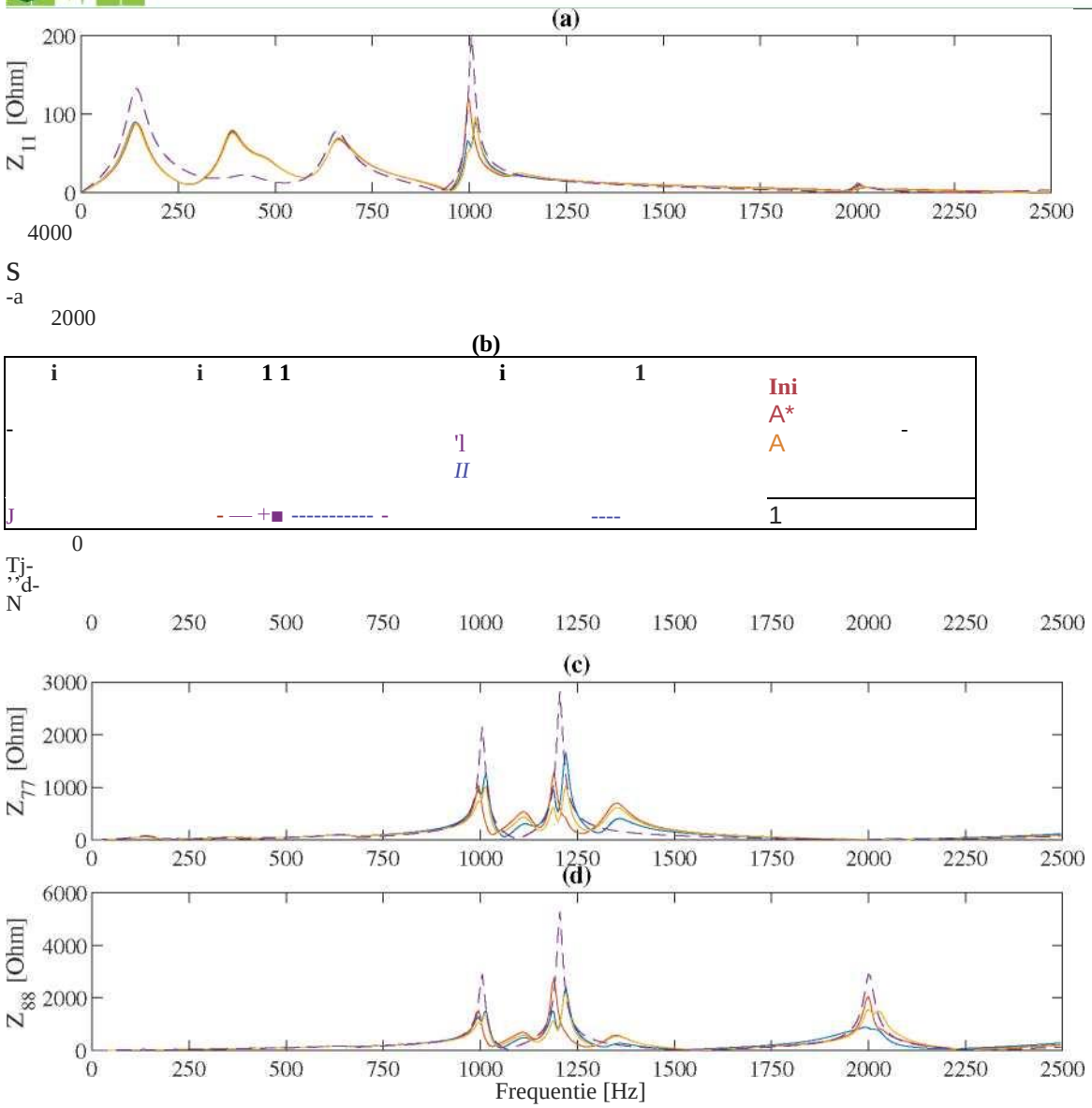
Wanneer de modale analyse voor de verschillende gevallen in de regio 0-2500 Hz wordt vergeleken, kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het verhogen van het aantal kabels zorgt ervoor dat de frequenties van de modi verschuiven naar de lage frequentieregio.

- Het toevoegen van kabels aan dezelfde bus als de bus waar reeds kabels aan verbonden zijn (bv. geval (ii)), kan resulteren in het behoud van een bepaalde resonantiefrequentie (bv. de piek rond 1000 Hz blijft dezelfde voor geval (i) en geval (ii)), maar wijzigt de andere pieken. Om te controleren of dit specifiek is voor deze topologie, zou het resultaat gecontroleerd moeten worden in vergelijking met andere topologieën.

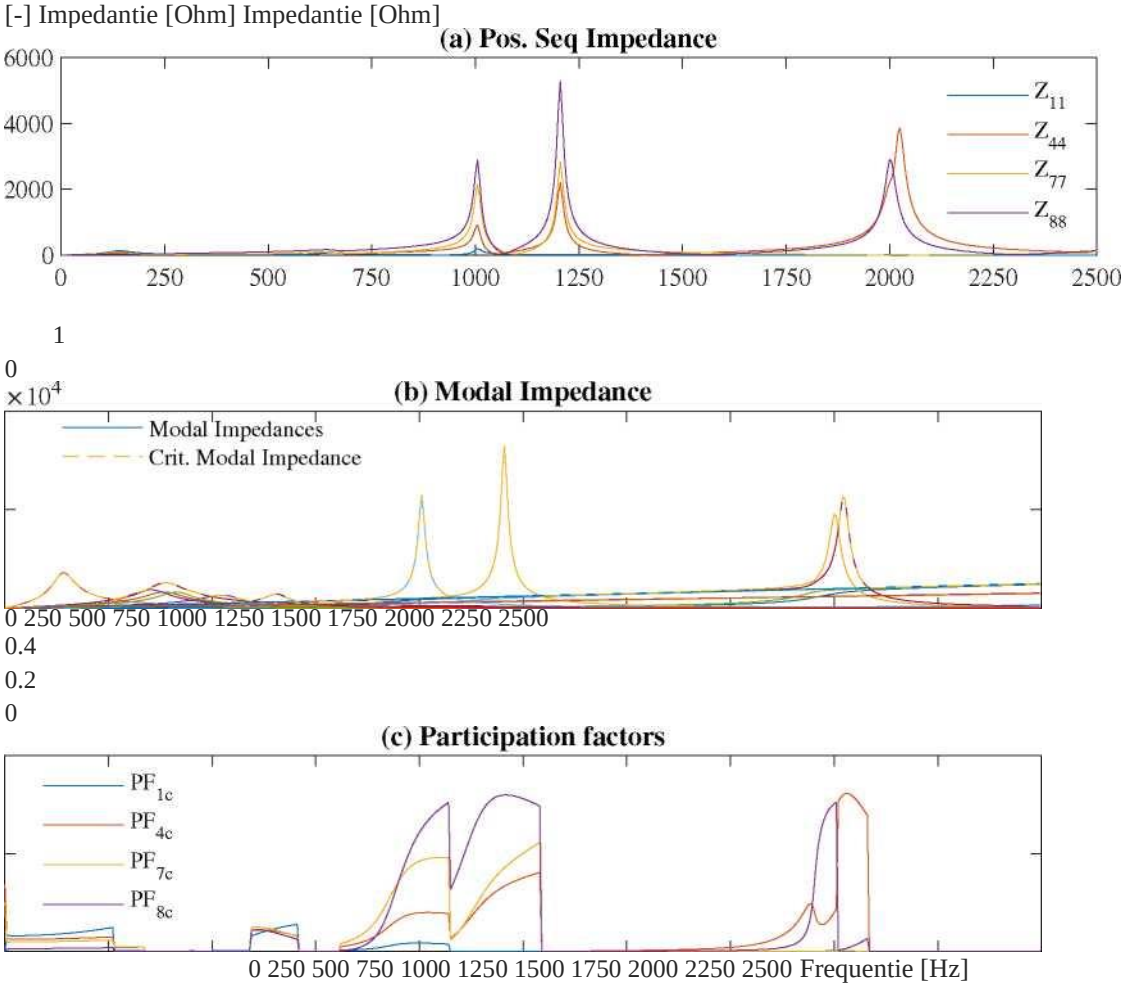
- De piek rond 2000 Hz is min of meer dezelfde in beide bestudeerde gevallen.

Tot slot worden in Fig. 7.1a drie regio's (100, 150 en 200 ± 10 Hz) aangegeven die gebruikt kunnen worden om potentiële probleemgevallen op te sporen. Voor elk van deze regio's, zoals uiteengezet in Hoofdstuk 5, kan een limiet op de amplitude van de impedantie worden toegepast. Wanneer de impedantie van het aandrijvingspunt deze limiet overschrijdt, kan een problematisch geval worden geïdentificeerd en kunnen voor dit geval bijkomende onderzoeken (bv. door gebruik te maken van tijddomeinsimulaties) uitgevoerd worden.

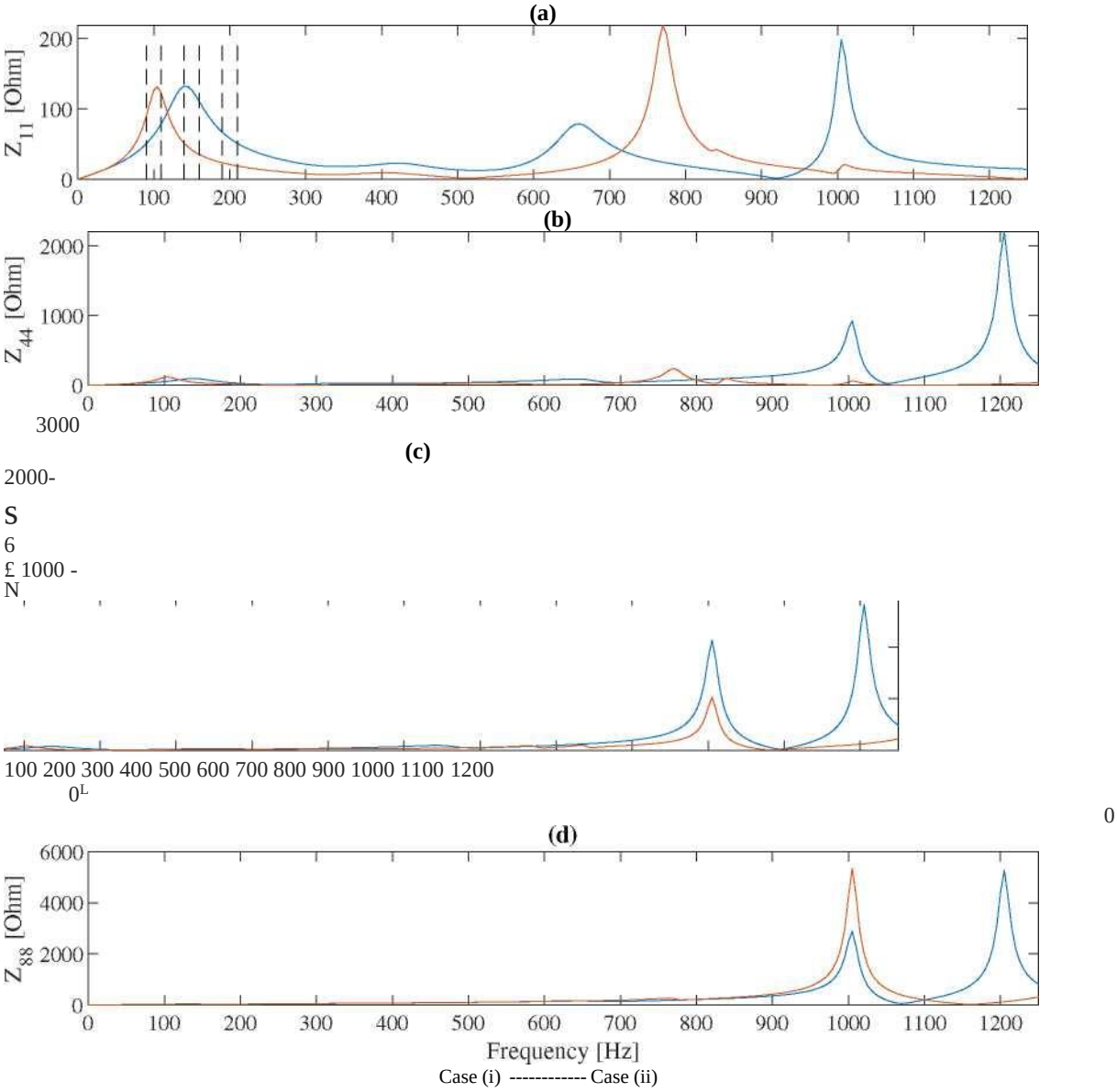


Figuur 7.1: Geselecteerde elementen uit de impedantiematrix voor basiscase (volle lijnen: fase-impedanties, stippellijnen: positieve sequentie-impedanties), Indicatie van frequentieregionen binnen welke limieten op de amplitude toegepast kunnen worden in eerste screeningstudies voor tijdelijke overspanningen.

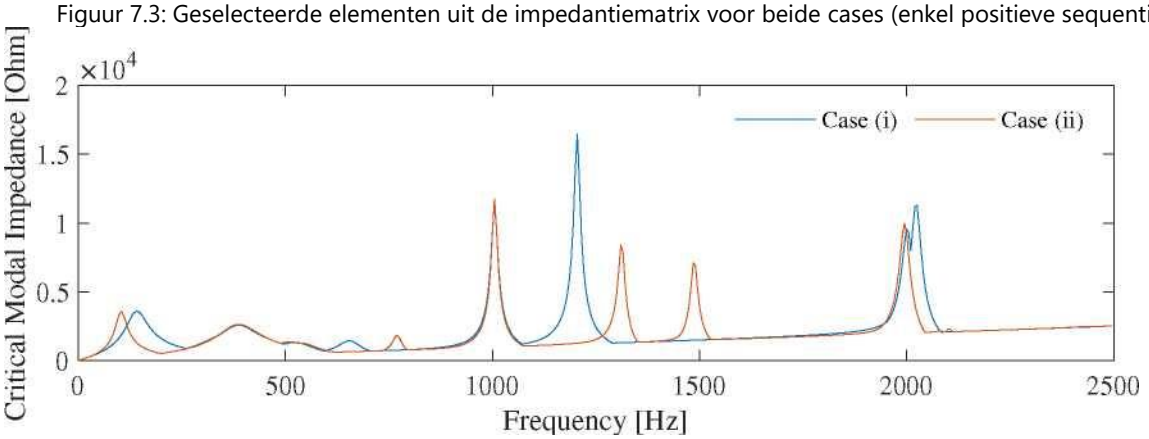
[-] Impedantie [Ohm] Impedantie [Ohm]



Figuur 7.2: Magnitudes van de modale impedanties voor de basiscase



Figuur 7.3: Geselecteerde elementen uit de impedantiematrix voor beide cases (enkel positieve sequentie)



Figuur 7.4: Magnitudes van de modale impedanties voor beide cases

8. Conclusie

Kabels zijn door operatoren van transmissiesystemen erkend geweest als een van de factoren die bijdragen aan een versterking van achtergrondharmonischen of tijdelijke overspanningen tijdens omschakelingsgebeurtenissen. De herkomsten van deze problemen liggen in de verschuiving van bestaande resonanties naar lagere frequenties, veroorzaakt door de toename van de capacitantie als gevolg van het toevoegen van kabels aan het net. Daarom kunnen bestaande achtergrondharmonischen die aanwezig zijn bij die lagere frequenties, versterkt worden tot onaanvaardbare niveaus, wat leidt tot bv. vermogenskwaliteitsproblemen bij lagere spanningsniveaus. Voor tijdelijke overspanningen kunnen de lagere resonantiefrequenties samenvallen met harmonischen die worden geïnjecteerd tijdens omschakelingsgebeurtenissen (bv. de harmonischen met een lage volgorde tijdens de activering van transformatoren). Deze tijdelijke overspanningen bleken te overheersen, vooral tijdens omschakelingsgebeurtenissen in zwakke systemen of in systemen met een groot aantal kabels. Een voorbeeldcasestudie in dit document bevestigde dat het verhogen van het aantal kabels een verschuiving veroorzaakte van bestaande resonanties naar lagere frequenties, alsook een toename van resonantiepieken in de frequentieregio tot 2500 Hz.

De industriële praktijk toont aan dat de versterking van achtergrondharmonischen wordt beoordeeld door middel van harmonische spanningstoenames die de toename van bestaande achtergrond (spannings) harmonischen uitdrukt tot die welke verwacht worden in toekomstige netsituaties. De spanningstoenames kunnen (i) vergeleken worden met planningsniveaus (ervan uitgaande dat de bestaande harmonischen reeds een deel van dat planningsniveau gebruiken) of (ii) vermenigvuldigd worden met gemeten harmonische spanningsgolfvormen om het absoluut harmonisch niveau in toekomstige netsituaties te beoordelen. Er dient in de beoordeling rekening te worden gehouden met onzekerheid rond de frequentie van de spanningtoename (bv. ± 50 Hz).

Frequentiescans van de impedantie van het aandrijvingspunt kunnen problematische gevallen aangeven van tijdelijke overspanningen veroorzaakt door serie- en parallelle resonantieverschijnselen, bv. in een screeningstudie, maar zouden aangevuld moeten worden met tijddomeinstudies in een verdere beoordeling. Een focus kan gelegd worden op parallelle resonanties, aangezien de geraadpleegde literatuur een relatief laag aantal problematische gevallen met serieresonantie aangaf. Een frequentiedomeinbeoordeling van parallelle resonanties bestaat uit het vergelijken van de impedantie van het aandrijvingspunt met een bepaalde drempel bij geselecteerde frequenties (bv. 100-150-200 Hz). De drempel wordt opgebouwd door gebruik te maken van (i) TOV-limieten voor apparatuur zoals overspanningsbeveiligingen of transformatoren en (ii) kenmerken van de activering van transformatoren. Drempels voor de impedantie werden geselecteerd bij een minimale impedantie (voor elke geselecteerde frequentie) waaronder overspanningsbeveiligingen of transformatoren beschadigd zouden raken. Er dient te worden opgemerkt dat verschillende bronnen melding maken van verschillende waarden voor de drempels, maar er geen duidelijke overeenkomst werd teruggevonden tussen die waarden. Een volledige beoordeling van problematische gevallen, zoals aangegeven door de frequentiedomeinbeoordeling, houdt meestal aanvullende studies in het tijddomein in die meestal tijdrovender zijn. Daarom kan de frequentiedomeinbeoordeling gebruikt worden om het aantal gevallen dat moet worden bestudeerd in het tijddomein te beperken.

Het overzicht van beperkingstechnieken om te gaan met versterking van achtergrondharmonischen en tijdelijke overspanningen als gevolg van resonanties, zoals voorgesteld in Hoofdstuk 6, resulteerde in de volgende opties voor harmonische compensatie en tijdelijk overspanningsbeheer. Voor harmonische compensatie zijn de opties die in de literatuur zijn teruggevonden (i) systeemontwerp om de systeeminductantie te verhogen, (ii) passieve filters, (iii) actieve filters en (iv) het beperken van injecties van harmonischen. Voor tijdelijk overspanningsbeheer werden de volgende opties teruggevonden: (i) omschakelingsscenario's vermijden die aanleiding geven tot problemen (bv. het verhogen van de belasting, het verhogen van de generatie, het vermijden van het activeren van de transformator via een kabel), (ii) shuntfilters gebruiken, (iii) point-on-wave omschakeling, (iv) neutrale aardingsreactoren, (v) het verlagen van de bronspanning tijdens omschakeling. Deze beperkingsmethoden kunnen in de volgende categorieën worden ondergebracht: (i) het verschijnsel vermijden, (ii) het verschijnsel onderdrukken en (ii) de netcomponenten aanpassen aan het verschijnsel. Er dient te worden opgemerkt dat sommige beperkingsmethoden aanleiding kunnen geven tot een verhoogde complexiteit inzake planning en bediening van het net (bv. filters toepassen) of kunnen interfereren met andere netbeperkingen (bv. een sterker systeem leidt tot hogere kortsluitstromen).

Afgezien van de analyse van de beoordeling van de ernst en de beperkingsmethoden die gebruikt worden binnen de industrie, **dient dit rapport als referentiewerk voor berekeningsmethoden (Hoofdstuk 2), voor de modellering van resonantieanalyse (Hoofdstuk 3) en resultaatinterpretatie (Hoofdstuk 4**). In hoofdstuk 2 staan de berekeningsmethodes uiteengezet die gewoonlijk gebruikt worden voor resonantieanalyse, m.a.w. frequentiescan en analyse van de harmonische resonantiemodus, waarvan methodes kunnen worden afgeleid, zoals spanningsscan of berekeningen van spanningstoenames. Hoofdstuk 3 verschaft richtsnoeren voor het modelleren van componenten met - in overeenstemming met het toepassingsgebied van het project - eerder een klemtoon op passieve componenten dan op actieve componenten, en voor het modelleren van het netwerk. De hoofdconclusie van Hoofdstuk 3 is dat resonantiestudies vereisen dat een uitgebreid deel van het systeem in detail

wordt gemodelleerd en dat modellen idealiter frequentieafhankelijkheid van parameters moeten weerspiegelen. Dit vereist kennis van componentparameters buiten de studies die zijn uitgevoerd voor 50 Hz. In Hoofdstuk 4 worden de frequentiescan en analyse van de harmonische resonantiemodus vergeleken. De frequentiescanmethode verschaft nauwkeurige ramingen van de magnitude van het aandrijvingspunt of transferimpedanties, terwijl de analyse van de harmonische resonantiemodus kan gebruikt worden om resonantiebronnen te lokaliseren.

Een overzicht van de problemen, beoordelings- en beperkingsmethoden, zoals in dit rapport besproken, is te vinden in Tabel 8.1.

Tot slot onthult het literatuuroverzicht dat praktische resonantiestudies over het algemeen rekening houden met de onzekerheid die verband houdt met de ingangsparameters en de modelleringskeuzes via bv. modelvalidatie (bijvoorbeeld in combinatie met meetcampagnes) en juiste scenarioselectie.

Verschijnsel	Voorbeeldoorzaken	Frequentiebereik	Frequentiedomein-indicatoren	Beoordeling	Beperking
Versterking van achtergrond-harmonischen	Verschuiving/verhoging spanningstoename als gevolg van invoering van kabels	Bv. 5e-7e-11e-13e harmonische [18]	Spanningstoenames bij harmonische frequenties	Gecombineerde frequentiedomeinmodellering en metingen	Systeemontwerp, filtering of beperking van injecties van harmonischen
Serie-resonantie Over-spanningen	Activering van kabel	Hangt af van de lengte van de kabel	Overeenstemming tussen serieresonantiefrequentie van het netwerk en resonantiefrequentie bij netwerk met lager niveau	Screening in frequentiedomein (serieresonanties en spanningstoenames) en verdere beoordeling in tijddomeinstudies	[(vooral) in geraadpleegde literatuur niet problematisch geacht]
Parallelle resonantie Over-spanningen	Activering transformator in zwak kabelsysteem	100-150-200 Hz [18] of 50-1000 Hz [10]	Impedantiemagnitude van het aandrijvingspunt overschrijdt limieten bij gespecificeerde frequenties	Screening in frequentiedomein, beoordeling in tijddomeinstudies	Omschakeling sequenties, point-on-wave omschakeling, hogere belasting voorafgaand aan activering

Tabel 8.1: Overzicht van problemen verbonden aan resonantieverschijnselen en bevindingen uit de literatuur

Conclusie

Bibliografie

[1] M. H. J. Bollen and S. M. Gargari, "Harmonic resonances due to transmission cables," in *Proc. CIGRE Belgium*, Brussels, Belgium, Mar. 2014.

[2] CIGRE WG C4.307, "Resonance and Ferroresonance in Power Networks," CIGRE, Technical Brochure TB 569, 2013.

[3] A. Ametani, T. Ohno, and N. Nagaoka, *Cable System Transients*. Singapore: J. Wiley & Sons, 2015.

[4] T. Ohno, C. L. Bak, A. Akihiro, W. Wiechowski, and T. K. Sorensen, "Derivation of Theoretical Formulas of the Frequency Component Contained in the Overvoltage Related to Long EHV Cables," *IEEE Transactions on Power Delivery, vo\. 27,* no. 2, pp.866-876, Apr. 2012.

[5] Tokyo Electric Power Company, "Assessment of the Technical Issues relating to Significant Amounts of EHV Underground Cable in the All-island Electricity Transmission System,"Tokyo Electric Power Company, Public Report, Nov. 2009.

[6] CIGRE WG C4.502, "Power system technical performance issues related to the application of long HVAC cables,"CIGRE, Technical Brochure556, Oct. 2013.

[7] C. Jensen, "Harmonic Background Amplification in Long Asymmetrical High Voltage Cable Systems," in *Proc. IPST 2017*, Seoul, Korea, Jun. 2017.

[8] W. Wiechowskiand P. BorreEriksen,"Selected studies on offshore wind farm cable connections-challenges and experience of the Danish TSO," in *Proc. 2008 IEEE PES GM*, Pittsburgh, PA, USA, Jul. 2008, iSSN: 1932-5517.

[9] T Ohno, "Dynamic Study on the 400 kV 60 km Kyndbyvaerket – Asnaesvaerket Line" PhD Thesis, Aalborg University, Aalborg, Denmark, Dec. 2012.

[10] Y. Vernay, S. Deschanvres, and Y. Fillion, "RTE experiences with the insertion of long EHVAC insulated cables," in *Proc. CIGRE 2014*, Paris, France, Aug. 2014.

[11] N. Cunniffe, M. Val Escudero, A. Mansoldo, E. Fagan, M. Norton, and C. Ellis, "Investigating the Methodology and Implications of Implementing Long HVAC Cables in the Ireland and Northern Ireland Power System," in *Proc. CIGRE 2016*, Paris, France, Aug. 2016.

[12] L. Wu, "Impact of EHV/HV underground power cables on resonant grid behavior," Ph.D. dissertation, TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, Oct. 2014.

[13] G. Hoogendorp, "Steady State and transient behavior of underground cables in 380 kV transmission grids," PhD Thesis, TU Delft, Delft, The Netherlands, Oct. 2016.

[14] H. Khalilnezhad, "Technical Performance of EHV PowerTransmission Systems with Long Underground Cables," Ph.D. dissertation, TU Delft, Delft, The Netherlands, 2018.

[15] F. Barakou, "Investigation of the impact of EHV underground power cables on the resonant and transient grid behavior," Ph.D. dissertation, TU Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, 2018.
[16] K. Jansen, B. van Hulst, C. Engelbrecht, P. Hesen, K. Velitsikakis, and C. Lakenbrink, "Resonances due to long HVAC offshore cable connections: studies to verify the immunity of dutch transmission network," in *2015 IEEEPowerTech,* Eindhoven, The Netherlands, Jun. 2015, pp.1-6.
[17] J. Enslin, R. Wakefield, Y. Hu, and S. Eric, "Harmonic Impedance Study for Southwest Connecticut Phase II Alternatives," Tech. Rep., Oct. 2004.
[18] Energinet, "Technical Issues Related To New Transmission Lines in Denmark," Tech. Rep. Doc. 18/04246-24, Sep. 2018.
[19] IEEE Std 519™-2014, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," IEEE, Tech. Rep. IEEE Std 519™-2014, 2014.
[20] IEEE Std 519 - 1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," IEEE, Tech. Rep., 1992.
[21] CIGRE WG B4.47, "Special Aspects of AC Filter Design for HVDC Systems," CIGRE, TB 568 Addendum to Technical Brochure 139, Oct. 2013.
[22] CIGRE WG C4.307, "Transformer Energization in Power Systems: A Study Guide," CIGRE, Tech. Rep. 568, 2014.
[23] CIGRE JWG C4/B4.38, "Network modelling for harmonic studies," CIGRE, Tech. Rep. TB 766, Apr. 2019.
[24] Zhenyu Huang, Wilsun Xu, and V. R. Dinavahi, "A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications," *IEEETransactions on PowerDelivery*, vol. 18, no. 4, pp. 1382-1387, Oct. 2003.
[25] T. Reveyrand, "Multiport conversions between S, Z, Y, h, ABCD, and T parameters," in *Proc. INMMIC*, Brive La Gaillarde, France, Aug. 2018.
[26] D. Frickey, "Conversions between S, Z, Y, H, ABCD, and T parameters which are valid for complex source and load impedances," *IEEETransactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 42, no. 2, pp. 205 - 211, 1994.
[27] Wilsun Xu, Zhenyu Huang, Yu Cui, and Haizhen Wang, "Harmonic resonance mode analysis," *IEEETransactions on PowerDelivery*, vol. 20, no. 2, pp. 1182-1190, Apr. 2005.
[28] Y. Fillion and S. Deschanvres, "Background harmonic amplification within offshore wind farm connection projects," in *Proc. IPST2015*, Cavtat, Croatia, Jun. 2015, 8 pages.
[29] PSCAD, *EMTDC User's Guide*. Manitoba HVDC Research Centre, 2010. [Online]. Available: https: //hvdc.ca/uploads/ck/files/reference_material/EMTDC_User_Guide_v4_3_1.pdf
[30] DigSILENT, *DIgSILENTPowerFactory 2019 UserManual*. DIgSILENT GmbH, 2019. [Online]. Available: http: //79.101.33.142/DIgSILENT%20PowerFactory%202019%20User%20Manual/UserManual_2019_en.pdf
[31] SIEMENS AG, "PSS SINCAL 13.0 Harmonics," 2016.
[32] A. Bayo Salas, "Control Interactions in Power Systems with Multiple VSC HVDC Converters," PhD Thesis, University of Leuven, Leuven, Belgium, Aug. 2018.
[33] J. Martinez-Velasco, *PowerSystem Transients: ParameterDetermination*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.
[34] J. Marti, L. Marti, and H. Dommel, "Transmission line models for steady-state and transients analysis," in *Proc. IEEEAPT'93*, Athens, Greece, Sep. 1993, pp. 744-750.
[35] S. Grivet-Talocia and B. Gustavsen, *Passive Macromodeling - Theory and Applications*. Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2016.
[36] J. R. Marti, "Accurate Modelling of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations," *IEEE*, vol. PAS-101, no. 1, pp. 147-157, Jan. 1982.
[37] A. Morched, B. Gustavsen, and M. Tartibi, "A universal model for accurate calculation of electromagnetic transients on overhead lines and underground cables," *IEEETransactions on PowerDelivery*, vol. 14, no. 3, pp. 1032-1038, Jul. 1999.

[38] CIGRE WG 33.02, "Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients," CIGRE, Brochure TB 39, 1990.
[39] IEC TR and IEC 60071-4:2004, "Insulation co-ordination — Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks," IEC, Standard, 2004.
[40] Alvarez-Cordero, Gabriel, Bachiller Soler, A., Gomez-Exposito, A., Rosendo Macias, J.A., and Gomez-Simon, Cristina, "A methodology for harmonic impedance in large power systems. Application to the filters of a VSC," in *Proc. CIGRE 2012*, Paris, France, Aug. 2012.
[41] WorkingGroup B1.30, "Cable Systems Electrical Characteristics," CIGRE, TB 531, 2013.
[42] A. Robertand T. Deflandre, "Guide for Assessing The Network Harmonic Impedance,"*CIGRE Electra*, vol. 167, Aug. 1996.
[43] CIGRE WG 36-05, "Harmonics, characteristic parameters, methods of study, estimates of existing values in the network" *CIGREElectra,* vol. 77, pp. 35-54, 1981.
[44] IEEE Std. 399-1997, "IEEE Recommended Practice forIndustrial and Commercial PowerSystems Analysis (Brown Book)," IEEE, Tech. Rep., 1997. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/399-1997. html
[45] J. Arrillaga, L. Juhlin, M. Lahtinen, P. Ribeiro, and A. Saavedra, "Ac System Modelling For Ac Filter Design - An Overview ofImpedance Modelling," *CIGRE Electra*, no. 164, Feb. 1996.
[46] P. M. Anderson, *Analysis Of Faulted Power Systems*, ser. IEEE Press Power Systems EngineeringSeries. NY: John Wiley & Sons, 1995.
[47] J. Wasilewski, W. Wiechowski, and C. Bak, "Harmonic domain modeling of a distribution system using the DIgSILENT PowerFactory software," in *2005 International Conference on Future Power Systems*, Nov. 2005, pp. 7 pp.-7.
[48] IEEE Std. 3002.8-2018, "IEEE Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies and Analysis of Industrial and Commercial PowerSystems," *IEEEStd3002.8-2018*, pp. 1-79, Oct. 2018.
[49] Task Force on Harmonics and Simulation, "Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electricpowernetworks. I. Concepts,models, and simulation techniques," *IEEETransactionsonPowerDelivery*, vol. 11, no. 1, pp. 452-465, Jan. 1996.
[50] Luigi Colla, S. Lauria, and F. M. Gatta, "Temporary Overvoltages due to Harmonic Resonance in Long EHV Cables," in *Proc. IPST 2007*, Lyon, France, Jun. 2017.
[51] F. Barakou, M. H. J. Bollen, S. Mousavi-Gargari, P. A. A. F. Wouters, and E. F. Steennis, "Downstream network modeling for switching transients in EHV networks containing cables," in *Proc. IEEEPowerTech*, Manchester, UK, Jun. 2017.
[52] J. C. Das, *PowerSystem Analysis: Short-CircuitLoad Flow and Harmonics*, 1st ed. New York: CRC Press, Apr. 2002.
[53] S.Dennetiere, A.Parisot, E. Milin, and A.D. Pons, "Resonance and insertion studies with EMTP: Working with large scale network models," in *Proc. International Conference on PowerSystems Transients (IPST2011)*, Delft, The Netherlands, Jun. 2011.
[54] Y. Vernayand B. Gustavsen, "Application of Frequency-Dependent Network Equivalents for EMTP Simulation of Transformer Inrush Current in Large Networks," in *Proc. IPST 2013*, Vancouver, Canada, Jun. 2013.
[55] O. Galland, D. Leu, V. Berner, and P. Favre-Perrod, "Resonance Analysis of a Transmission Power System and Possible Consequences of its Undergrounding," *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 59, no. 3, pp. 88-93, Sep. 2015.
[56] C. Amornvipas and L. Hofmann, "Resonance analyses in transmission systems: Experience in Germany," in *Proc. IEEEPES GM*, Minneapolis, Minnesota, USA, Jul. 2010, pp. 1-8, iSSN: 1932-5517, 1944-9925, 19449925.

[57] A. Neufeld, N. Schakel, and L.Hofmann, "Harmonic Resonance Analysis for Various Degrees of Cable Penetration in Transmission Grids," in *Proc. UPEC*, Glasgow, UK, Sep. 2018.
[58] M. Quester, M. Knittel, P. Raffelsiefen, and A. Schnettler, "Resonance Mode Analysis of Cabling in the Transmission System" in *Proc. UPEC,* Glasgow, UK, Sep.2018, pp.1-6.
[59] H.Hu, H.Tao, X.Wang, F. Blaabjerg, Z. He, and S.Gao, "Train-Network Interactions and Stability Evaluation in High-Speed Railways—Part II: Influential Factors and Verifications," *IEEETransactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 6, pp. 4643-4659, Jun. 2018.
[60] O. Galland, L. Eggenschwiler, R. Horta, W. Sattinger, P. Favre-Perrod, and D. Roggo, "Application of Resonance Analysis to AC-DC Networks," *IEEETransactions on PowerDelivery*, vol. 33, no. 3, pp. 1438-1447, Jun. 2018.
[61] A. Arasteh, O. Goksu, J. N. Sakamuri, and N. A. Cutululis, "On the Methods of Resonance Identification in Power Systems," in *Proc. IEEE2019 PowerTech*, Milan, Italy, Jun. 2019, pp. 1-6.
[62] CIGRE WG 33.10, "Temporary overvoltage withstand characteristics of extra high voltage equipment."*CIGRE Electra*, no. 179, Aug. 1998.
[63] A. Ketabi, A. Ranjbar, and R. Feuillet, "Analysis and control of temporary overvoltages for automated restoration planning," *IEEETransactionsonPowerDelivery*, vol. 17, no. 4, pp. 1121-1127, Oct. 2002.
[64] K. Velitsikakis and C. Engelbrecht, "Proposed Method for Evaluating Temporary Overvoltages in Transmission Systems due to Low Harmonic Order Resonances," in *Proc. CIGREDublin*, Dublin, Ireland, Jun. 2017, 10 pages.
[65] ——, "Application of C-type Harmonic Filters as Remedial Measure Against Temporary Overvoltages in Transmission Systems due to Harmonic Resonances," in *Proc. CIGRE 2018*, Paris, France, Aug. 2020, 10 pages.
[66] J. Das, *Transients in Electrical Systems*. McGraw-Hill, 2010.
[67] London Power Associates, "Investigation into Mitigation Techniques for 400/220 kV Cable Issues," Jan. 2015. [Online]. Available: http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/ Investigation-into-Mitigation-Techniques-for-Cable-Issues.pdf
[68] EirGrid, "An Information Note on Harmonic Issues and their impact on Customer connections," 2013. [Online]. Available: http://www.eirgridgroup.com/site-files/library/EirGrid/ AnInformationNoteOnHarmonicIssuesv1.0.pdf
[69] R. Wakefield, Y. Hu, J. Enslin, R. Wakefield, Y. Hu, and J. Enslin, "System Considerations and Impacts of AC Cable Networks on Weak High Voltage Transmission Networks," in *Proc. IEEE T&D*, Dallas, TX, USA, May 2006, pp. 1030-1034, iSSN:2160-8563.
[70] K. M. El-Naggar, H. M. Ismail, and M. Al-Fahd, "Harmonic modeling, analysis, mitigation of Kuwait EHV electrical network," *Electrical Engineering*, vol. 91, no. 3, p. 145, Sep. 2009.
[71] Z. Salam, T. P. Cheng, and A. Jusoh, "Harmonics Mitigation Using Active Power Filter: A Technological Review," *Elektrika*, vol. 8, no. 2, pp. 17-26, 2006.
[72] S. G. Kim, "OvervoltageStudiesonELIA'sStevin380kVCableLink(Part1: TOV Switching Overvoltage Study)," Tech. Rep. R13-946, Oct. 2013.

Caseparameters

A.1 Voorbeeldtestsysteem

Het voorbeeldtestsysteem zoals weergegeven in Fig. A.1 wordt enkel gebruikt voor demonstratiedoeleinden van de berekeningsmethoden en voor indicaties betreffende verschuivingen in frequentierespons.

	Hoewel het testsysteem een grote gelijkenis vertoont met het daadwerkelijke net van Elia in West- en Oost-Vlaanderen, heeft de hier uitgevoerde studie beperkingen en zouden de studieresultaten niet mogen worden gebruikt voor andere doeleinden dan het demonstreren van de berekeningsmethoden en eerste indicaties van verschuivingen in de frequentierespons van het net.
	De hieronder besproken modellen zijn vereenvoudigd. Voor een praktische studie zouden de richtsnoeren overeenkomstig hoofdstuk 3 moeten worden gebruikt.

De aannames in de studie zijn:

- Bij de 380 kV bussen MERCA380 en FR_EQ380 wordt een fundamentele frequentie Thévenin-impedantie toegevoegd. De Thévenin-impedantie is zuiver inductief en lijkt op een extern net van 10 GVA.
- Belastingen worden rechtstreeks gemodelleerd op het secundaire deel van de transformatoren. In een praktische studie zou een frequentieafhankelijk netwerkequivalent gebruikt moeten worden of idealiter zou een deel van het secundaire netwerk gemodelleerd moeten worden.
    - De shuntcompensatie blijft ongewijzigd voor de frequentiescans en wordt aangepast voor de TOV-studies.

A.2 Netequivalenten

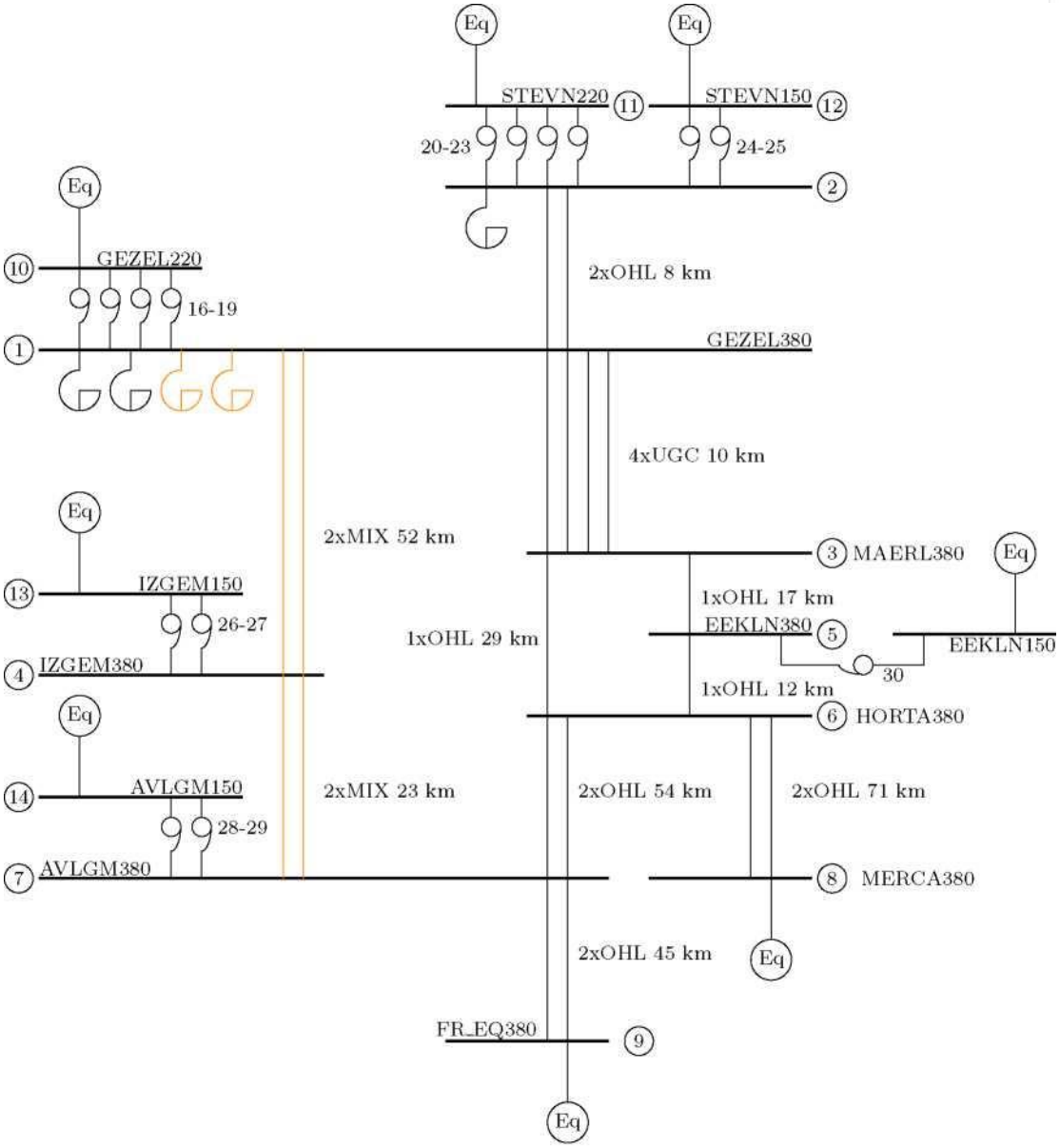


Figure A.1: Test system used in the examples

Tabel A.1: Kabelparameters

Geleider	Straal binnenkant [mm]	Straal buitenkant [mm]	ρ [Ωm]	μ_r	ε_r
Kern	0	31.75	2.18e-8	1	-
Halfgeleider binnenkant	31.75	33.75	-	-	-
Hoofdisolatie	33.75	59.55	-	-	2.26
Halfgeleider buitenkant	59.55	60.85	-	-	-
Metalen scherm	60.85	61.05	1.72e-8	1	-
Draadomhulsel buitenkant	61.05	65.95	-	-	2.26

De netequivalenten die een systeem weergeven met een kortsluitniveau van ongeveer 10 GVA, worden gemodelleerd als een inductor met waarde 0.05 H. In een praktische studie zou een frequentieafhankelijk netequivalent gebruikt moeten worden en zou de impedantie van het netequivalent moeten schommelen naargelang van de werkingsomstandigheden. Anders zou een groter deel van het primaire systeem zodanig gemodelleerd moeten worden dat het netequivalent met fundamentele frequentie ver genoeg is van het beoogde gebied (studiezone).

A.3 Kabels

De kabels worden gemodelleerd als een aaneenschakeling van meervoudige eenaderige kabels (afhankelijk van het aantal parallelle circuits). De kabelgeometrie en materiaalparameters voor een eenaderige kabel zijn aangegeven in Tabel A.1. De aardweerstand is ingesteld op 25 Ωm. De diepte van ingraving van de kabels bedraagt 1,9 m. Elke kabel binnen een driefasig circuit heeft een afstand tussen de aders van 0,5 m en de afstand tussen de aders van dezelfde fase binnen elk circuit bedraagt 2,32 m. De kabelmantels zijn gekruist verbonden en de mantels zijn aan het einde van elke kruisverbinding drievoudig kortgesloten en geaard. De totale lengte van 1 kleine sectie is kleiner dan 900 m.

De kabels worden gemodelleerd door gebruik te maken van een frequentieafhankelijk fasemodel. De kruisverbinding wordt ofwel expliciet (exacte oplossing) ofwel als ideale kruisverbinding (benaderende oplossing) gemodelleerd.

De lengte van een kleine sectie van de kabels tussen GEZEL380 en MAERL380 bedraagt 834 m en vier belangrijke secties worden gebruikt, wat leidt tot een lengte van 10 km. De lengte van een kleine sectie van de kabels tussen IZGM380 bedraagt 866,7 m en 20 belangrijke secties worden gebruikt. De lengte van een kleine sectie van de kabels tussen IZGM380 en GEZEL380 bedraagt 851,9 m en 9 belangrijke secties worden gebruikt, wat leidt tot een lengte van 23 km.

A.4 Bovengrondse leidingen

De bovengrondse leidingen zijn bovengrondse lijnen met een enkel of dubbel circuit met geleiderparameters en een lijngeometrie zoals aangegeven in Tabel A.2. Voor een bovengrondse leiding met een enkel circuit is slechts één circuit (bv. 1-3) gebruikt. De aardweerstand is 25 Ωm.

A.5 Transformatoren

De transformatoren zijn autotransformatoren met een wikkelingconfiguratie YNa0(d). De transformatorparameters zijn aangegeven in de Tabellen A.3 en A.4.

De transformatoren zijn gemodelleerd met een vereenvoudigd circuit overeenkomstig de richtsnoeren in Sectie 3.2. Koperverliezen worden verwaarloosd.

A.6 Belastingen

Bij de bussen van 220 en 150 kV worden belastingen gemodelleerd als een parallel RX-circuit, ofwel capacitief ofwel inductief. Bij de bussen van 220 kV wordt de belasting verondersteld een actief en reactief vermogen te hebben van respectievelijk 250 MW en 125 MVAr.

Tabel A.2: Parameters van bovengrondse lijnen

Geleider	X [m]	Y [m]	Sag [m]	Straal geleider [m]	Aantal bundels	DC-weerstand [Ohm/km]
1	-7	30	10	.016	4	.05
2	-7	39	10	.016	4	.05
3	-7	48	10	.016	4	.05
4	7	30	10	.016	4	.05
5	7	39	10	.016	4	.05
6	7	48	10	.016	4	.05
GW1	-4	57	10	0.011	4	.1
GW2	4	57	10	0.011	4	.1

Tabel A.3: Parameters transformator A

Nominaal vermogen	555 MVA
Wikkeling 1 Spanning	400 kV
Wikkeling 2 Spanning	150 kV
Wikkeling 3 Spanning	34 kV
Lekreactantie (HL)	.23 pu
Lekreactantie (HT)	.23 pu (verondersteld)
Lekreactantie (LT)	.23 pu (verondersteld)
Koperverlies	1600 kW

Bij de bussen van 150 kV wordt de belasting verondersteld een actief en reactief vermogen te hebben van respectievelijk 150 MW en 75 MVAr. Eén uitzondering wordt gemaakt voor de EEKLN-bus van 150 kV, waar de belasting 75 MW en 37,5 MVAr bedraagt. Dit leidt tot waarden voor R, L en C overeenkomstig Tabel A.5.

Tabel A.4: Parameters transformator B

Nominaal vermogen	
600 MVA	
400 kV	
225 kV	
34 kV	
.15 pu 15 pu (verondersteld) .15 pu (verondersteld)	
830 kW	
Wikkeling 1 Spanning	
Wikkeling 2 Spanning	
Wikkeling 3 Spanning	
Lekreactantie (HL) Lekreactantie (HT) Lekreactantie (LT) Koperverlies	

Spanning bus	P (MW)	Q (MVAr)	R (**Ω**)	L (H)	C (µF)
220 kV	250	125	193.6	1.23	8.22
150 kV	150	75	150	0.95	10.61
150 kV (EEKLN150)	75	37.5	300	1.9	5.3

Tabel A.5: Belastingen

EnergyVille verenigt de Vlaamse onderzoeksinstituten KU Leuven, VITO, imec en UHasselt voor onderzoek rond duurzame energie en intelligente energiesystemen.

EnergyVille
Thor Park 8310 3600

Genk, België
info@energyville.be +32 (0)14 33 59 10

Bijlage 5.1 Elektromagnetische velden

1 Elektromagnetische velden

Deze bijlage geeft een overzicht van de wetenschappelijke kennis over mogelijke gezondheidseffecten, over de geldende normen en richtlijnen en over de aanpak voor EMF in Vlaanderen.

1.1 Situering

1.1.1 Algemeen

Wanneer elektriciteit door een geleider of elektrische apparatuur stroomt, ontstaat er een magnetisch veld. Een magnetisch veld ontstaat bij een verplaatsing van elektrische ladingen, dus wanneer er stroom circuleert. De eenheid van het magnetisch veld is ampère per meter (A/m). Maar meestal wordt tesla (T) gebruikt, dat is de eenheid van een afgeleide grootheid, de magnetische fluxdichtheid. Bij meten van magnetische velden, worden de resultaten ook uitgedrukt in microtesla (μT).

Het magnetische veld dat door een elektrische stroom (bv. transport door een hoogspanningslijn) wordt opgewekt, heeft een extreem lage frequentie (50 Hz) en grote golflengte. Men spreekt dan ook van extreem laag frequente elektromagnetische velden (ELF EMV). Hoogspanningslijnen kunnen worden onderverdeeld volgens hun spanningsniveaus. In Vlaanderen gaat het voornamelijk om luchtlijnen van 380 kV, 150 kV en 70 kV. In mindere mate zijn ook 36 kV-lijnen terug te vinden in Vlaanderen.

Tijdens het transport van elektriciteit is de elektrische stroom die door de geleider vloeit niet altijd even groot. De stroomdoorvoer hangt o.a. af van de stroomvraag van gebruikers. Zo kunnen er pieken voorkomen onder hoogspanningslijnen waardoor de magnetische veldsterkte kunnen oplopen. Deze situatie kan zich bijvoorbeeld voordoen in periodes wanneer er zowel veel zonne-energie en windenergie op hetzelfde moment wordt opgewekt.

In de omgeving van hoogspanningslijnen en hun transformatoren is er vooral bezorgdheid over het statistische verband van magnetische velden met kinderleukemie dat uit bevolkingsonderzoek naar voor komt.[1]

1.1.2 Evoluties energielandschap

Op Europees niveau wordt er gewerkt aan een Europese Energie-unie[2]. Ook In het regeerakkoord van de Vlaamse Regering wordt prioritair ingezet op energie-efficiëntie. Verstandig omgaan met energie en de Europese klimaatdoelstellingen behoren tot de hoofddoelstellingen. Voor het Vlaamse Gewest zijn de resultaten van deze oefening van groot belang voor de beleidsdoelstellingen inzake energie-efficiëntie, de hernieuwbare energieproductie, de versterking van de connecties met omringende landen, innovatieve oplossingen voor energieopslag, de energienorm ... [3]

Vandaag is het hoogspanningsnet onderhevig aan diverse evoluties. Door de toenemende energiebehoefte en de transitie naar een nieuw energiesysteem waarbij gedecentraliseerde productie (fotovoltaïsch, biomassa …) steeds belangrijker wordt, moeten bestaande hoogspanningslijnen versterkt of nieuwe infrastructuur gebouwd worden.

[1] Ahlbom A, Day N, Feychting M, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. British Journal of Cancer. 2000;83(5):692-698. doi:10.1054/bjoc.2000.1376.

[2] https://europa.eu/european-union/topics/energy_nl

[3] Regeerakkoord van de Vlaamse Regering 2014-2019 (https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/het-regeerakkoord-van-de-vlaamse-regering-2014-2019)

Nieuwe hernieuwbare productie-eenheden, zoals offshore windparken, bevinden zich steeds verder van de steden, gedecentraliseerde productie ontwikkelt zich snel en deze beïnvloeden het beheer van het transportnet. Nieuwe infrastructuur wordt daarom gebouwd om de bevoorradingszekerheid te garanderen en hernieuwbare energie te integreren.

Om de geïntegreerde Europese energiemarkt tot stand te brengen zet men de marktontwikkeling voort door de transportcapaciteit tussen landen te verhogen. De integratie van de hernieuwbare energie en de versterking van de connecties op Europees niveau hebben als gevolg dat netinfrastructuur verstrekt of uitgebreid moet worden.[4] De transitie naar hernieuwbare en decentrale vormen van energieproductie zorgen er bovendien voor dat lijnen zeer variabel kunnen belast worden.

1.1.3 Maatschappij: ongerustheid bij omwonenden

Jaarlijks krijgt het Departement Omgeving talrijke vragen van burgers over wonen nabij hoogspanningslijnen. Er werden in het jaar 2017 202 vragen gesteld over wonen nabij hoogspanningslijnen, in het jaar 2018 ging het om 267 vragen.

Dit toont aan dat bij de bevolking en vooral bij de omwonenden van hoogspanningslijnen heel wat ongerustheid aanwezig is. Vragen gaan telkens over het wonen nabij hoogspanningslijnen en de mogelijke gezondheidseffecten die ze kunnen teweegbrengen.

1.2 Wetenschappelijke stand van zaken

1.2.1 Bewezen effecten

Bij blootstelling aan magnetische en/of elektrische ELF[5]-velden kunnen effecten optreden bij een hoge blootstelling. De International Commission for Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) heeft een beoordeling gemaakt van het wetenschappelijk onderzoek naar bewezen effecten en stelt op basis van de bewezen effecten richtlijnen op voor de blootstelling aan magnetische velden.

Bij de opmaak van de richtlijnen wordt rekening gehouden met een aantal reductiefactoren om inherente onzekerheid van wetenschappelijke gegevens in rekening te brengen. Die reductiefactoren worden toegepast om rekening te houden met factoren zoals leeftijdsverschillen, omgeving en persoonlijke gevoeligheid.

Op basis van wetenschappelijk onderbouwde onderzoeken heeft ICNIRP in 2010 een richtlijn van 200µT opgesteld voor het algemeen publiek. Die mogelijke effecten zijn:

- Duidelijk vastgestelde effecten (van lichte tintelingen aan het huidoppervlak tot reële hinder) kunnen worden veroorzaakt door blootstelling aan laagfrequente elektrische velden.
- De inductie van fosfenen in het netvlies door laagfrequente magnetische velden kan als model worden gebruikt om geïnduceerde elektrische velden op het centrale zenuwstelsel naar voren te brengen.
- Ook visuele verwerking in de hersenen en motorische coördinatie kunnen door hoge elektrische velden beïnvloed worden.

[4] http://www.elia.be/nl/projecten/netprojecten

[5] Extreem Lage Frequentie

Het gaat hierbij om acute effecten en 200 µT mag daarom op geen enkel ogenblik en gedurende geen enkele tijdsduur overschreden worden. ICNIRP heeft ook onderzoeken beoordeeld over mogelijke chronische effecten. ICNIRP concludeerde dat er geen overtuigend bewijs is dat er een oorzakelijk verband is tussen die effecten en blootstelling aan magnetische velden.

1.2.2 Statistisch verband met kinderleukemie en evidentie voor andere effecten

Sinds de jaren '70 wordt onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan lagere niveaus van magnetische velden van hoogspanningslijnen. In bevolkingsonderzoeken werd een statistisch verband gevonden tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen (chronische blootstelling aan meer dan 0,4 µT) en het meer voorkomen van kinderleukemie.

Epidemiologen hebben onderzocht of vertekeningen of verstorende variabelen dit verband kunnen verklaren, maar ze komen niet tot een definitieve conclusie in deze materie. Tegelijkertijd werd via cel-dierproeven het werkingsmechanisme onderzocht echter zonder resultaat. Zelfs bij levenslang blootgestelde dieren konden goed uitgevoerde studies geen verband aantonen tussen ELF magnetische velden en acute leukemie. Voor alle bekende menselijke carcinogenen is er minstens één dier waarvoor de stof ook kankerverwekkend is. Tot nu toe kan geen enkel werkingsmechanisme het mogelijke verband verklaren.

Er werd ook onderzoek uitgevoerd naar andere soorten kanker, neurodegeneratieve ziekten, cardiovasculaire aandoeningen, depressie, zelfmoord, gedragsstoornissen, vruchtbaarheidsstoornissen, overgevoeligheden, slaapstoornissen,... maar zonder een significant verband aan te tonen.

Ziehier de resultaten van de European Health Risk Assessment (EPHRAN, 2012). Ook de experten uit het consultatietraject uit 2011, georganiseerd door het toenmalige departement LNE, kwam al tot dezelfde conclusie. Het Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) komt tot hetzelfde besluit in het review rapport 'Potential health effects of exposure to electromagnetic fields' uit 2015.

Effecten	Strength of evidence
Kanker effecten	
Leukemie bij kinderen	Beperkt
Hersentumoren bij kinderen	Inadequaat
Hersentumoren bij volwassen	Inadequaat
Borstkanker bij volwassen	Geen effecten
Andere kanker (kinderen of volwassen)	Inadequaat
Neurodegeneratieve aandoeningen	
Ziekte van Alzheimer	Inadequaat
Amyotrofische laterale sclerose (ALS)	Inadequaat
Andere neurodegeneratieve aandoeningen	Inadequaat
Effecten op de reproductie	
al effecten	Inadequaat
Cardiovascular aandoeningen	
al aandoeningen	Geen effecten
Welbehagen	
Elektromagnetische hypergevoeligheid	Geen effecten
Symptomen	Inadequaat

Figuur 1: Potentiële gezondheidseffecten bij blootstelling aan elektromagnetische velden

1.3 Overzicht richtlijnen en normen (internationaal)

1.3.1 ICNIRP en Europese bepalingen

Op 12 juli 1999 heeft de Raad van de Europese Unie een aanbeveling in verband met niet-ioniserende elektromagnetische velden opgesteld. Die aanbeveling is gebaseerd op de aanbevelingen van 1998 van de 'International Commission for Non-ionizing Radiation Protection' (ICNIRP 1998)[6] en bevat beperkingen voor de blootstelling aan elektromagnetische velden door het menselijk lichaam (voor het algemeen publiek, niet beperkt tot werknemers). Voor magnetische velden die met de elektriciteitsvoorziening samenhangen is de richtlijn gelijk aan 100 μT.

De ICNIRP is een expertgroep die richtlijnen opstelt om de blootstelling aan elektrische en magnetische velden (EMV) te beperken. Die richtlijnen moeten bescherming bieden tegen alle vastgestelde schadelijke gezondheidseffecten.

De richtlijnen zijn gebaseerd op:

- Duidelijk vastgestelde effecten (van lichte tintelingen aan het huidoppervlak tot reële hinder) kunnen worden veroorzaakt door blootstelling aan laagfrequente elektrische velden.
- De inductie van fosfenen in het netvlies door laagfrequente magnetische velden kan als model worden gebruikt om geïnduceerde elektrische velden op het centrale zenuwstelsel naar voren te brengen.

Met het oog op de aan de wetenschappelijke gegevens inherente onzekerheid, werden bij het opstellen van de blootstellingsrichtlijnen reductiefactoren toegepast. Een reductiefactor wordt toegepast voor de blootstelling van het publiek (in vergelijking met beroepsmatige blootstelling). Hij houdt rekening met zijn heterogeniteit (leeftijdsverschil, gezondheidstoestand van het publiek, omgevingsomstandigheden, persoonlijke gevoeligheid).

In 2010[7] heeft ICNIRP de richtlijn verhoogd naar 200 μT, o.a. omwille van betere dosimetrie in onderzoeken, de Raad van de Europese Unie heeft echter zijn aanbevelingen hier (nog) niet aan aangepast en behouden op 100 μT.

1.3.2 Wetgeving in de omringende landen[8]

Het statistisch verband met kinderleukemie heeft ook in de omringende landen geleid tot het toepassen van voorzorg in het beleid over magnetische velden. Door de onzekerheid van het effect blijken landen verschillend om te gaan en maken de landen andere afleidingen voor beleid. Bij de opmaak van beleid werd verschillend gewicht gegeven aan de wetenschappelijke bewijslast, sociale, economische en politieke parameters en haalbaarheid. Die verschillende afwegingen zorgen in de omringende landen voor ander beleid, wel telkens gebaseerd op het toepassen van voorzorg.

In Frankrijk is er een niet bindende ministeriële aanbeveling die de departementshoofden adviseert om de bouw van hospitalen en kinderdagverblijven nabij hoogspanningslijnen, kabels en transformators te vermijden daar waar kinderen kunnen blootgesteld worden aan magnetische velden steker dan 1 μT. Er zijn geen instructies om de aanleg van nieuwe of aanpassing van bestaande elektrische infrastructuur te vermijden wanneer die kunnen leiden tot magnetische velden sterker dan

[6] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1998, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up 300 GHz)," Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494-522

[7] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 2010, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)," Health Physics, Vol. 99, No. 6, pp. 818-836

[8] Stam R. National precautionary policies on magnetic fields from power lines in Belgium, France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom. RIVM. 2017

1 μT nabij gevoelige locaties. De beheerder van het transmissienet probeert daar wel gevoelige locaties te vermijden bij de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen.

In Duitsland vereist nationale wetgeving bij de aanleg of de aanpassing van hoogspanningslijnen dat alle mogelijkheden tot het minimaliseren van magnetische velden moeten worden aangewend en dit volgens de huidige technische kennis. Nieuw geplande hoogspanningslijnen mogen er niet over gebouwen lopen die bedoeld zijn voor het langdurig verblijf van mensen. De verplichting tot het minimaliseren van magnetische velden is enkel van toepassing op locaties waar huizen, ziekenhuizen, scholen, kinderopvang, speelplaatsen of andere plaatsen die niet uitsluitend bedoeld zijn voor het tijdelijk verblijf van mensen. Maatregelen tot vermindering van de blootstelling aan magnetische velden moeten evenredig zijn met betrekking tot kosten, functionaliteit en negatieve effecten op het milieu, welzijn en de arbeidsveiligheid. Sommige gebieden in Duitsland hebben aanvullende beperkingen voor nieuwe hoogspanningslijnen in regionale ruimtelijke ordeningswetgeving.

In Nederland adviseert een ministeriële aanbeveling lokale autoriteiten en de beheerder van het transmissienet om zover als mogelijk en redelijkerwijs in nieuwe situaties de langdurige blootstelling van kinderen in gebieden rond hoogspanningslijnen met een jaarlijkse gemiddelde magnetische fluxdichtheid groter dan 0,4 μT te vermijden. Het advies is van toepassing bij het maken van ruimtelijke plannen en het bepalen van het traject van hoogspanningslijnen of bij de aanpassing van bestaande hoogspanningslijnen.

In het Verenigd Koninkrijk verklaarde de regering in antwoord op de conclusies van een nationaal stakeholdersdialoog dat het de implementatie van goedkope opties ondersteunt, zoals optimale fasering om het magnetische veld van hoogspanningslijnen te verminderen. De Britse overheid beschouwt bijkomende maatregelen om de blootstelling te verminderen bij hoogspanningslijnen als onevenredig in het licht van het bewijs over mogelijke gezondheidsrisico's en heeft geen plannen om dit te implementeren.

1.3.3 Besluit van de Vlaamse regering houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu (Binnenmilieubesluit)

Op Vlaams niveau werd in 2004 een richt- en interventiewaarde voor magnetische velden in het binnenmilieu gepubliceerd.[9] De richtwaarde (ideale situatie) voor magnetische velden is 0,4 μT en de interventiewaarde (maximaal toelaatbaar risiconiveau) is 20 μT. Wanneer de gezondheid van bewoners of gebruikers in onmiddellijk gevaar verkeert, kan dwingend worden opgetreden. Daartoe werden de interventiewaarden ingevoerd, die een minimale kwaliteit in het binnenmilieu moeten garanderen.[10]

Volgens de bepalingen in dit besluit wordt een woning waarin de interventiewaarde is overschreden geacht een onbewoonbare woning te zijn. Bij vaststelling van dergelijke toestand kan het Agentschap Zorg en Gezondheid maatregelen opleggen om de problemen op te lossen. Als in publiek toegankelijke gebouwen de interventiewaarde wordt overschreden bezorgt het Agentschap Zorg en Gezondheid aan de beheerder een rapport met de opdracht om de objectief vastgestelde gezondheidsrisico's te beperken of uit te sluiten. Die opdracht kwalificeert publiek toegankelijke gebouwen als ongeschikt gebouw voor verder publiek gebruik of legt saneringsmaatregelen op, uit te voeren binnen een in de opdracht bepaalde termijn.

[9] Vlaamse Regering, 11 juni 2004, Kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu i.v.m. het ELF magnetisch veld: Besluit van de Vlaamse Regering houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu. B.S. 19.10.2004 p. 72555

[10] https://www.zorg-en-gezondheid.be/besluit-van-de-vlaamse-regering-van-11-juni-2004-houdende-maatregelen-tot-bestrijding-van-de

Het binnenmilieubesluit stelt wel dat als de gezondheidsrisico's in het binnenmilieu hun oorsprong vinden in het buitenmilieu, het Agentschap Zorg en Gezondheid de Vlaamse ambtenaren informeert die bevoegd zijn voor het buitenmilieu.

1.3.4 Mededeling aan de leden van de Vlaamse Regering betreffende nieuwe luchtlijnen op hoge spanning

De Stevin en Brabo projecten waarbij nieuwe hoogspanningslijnen met een hoog vermogen worden aangelegd gaven aanleiding tot een mededeling aan de leden van de Vlaamse Regering. De mededeling bevat o.a. volgende aanbevelingen voor wonen en verblijven in de buurt van hoogspanningslijnen:

- Het overspannen van bestaande gevoelige functies[11] bij nieuwe hoogspanningslijnen tot een minimum beperken;

  De Vlaamse overheid zorgt ervoor om bij voorkeur geen bestaande gevoelige functies te overspannen bij nieuwe hoogspanningslijnen en om zo weinig mogelijk woningen / onbebouwde woonpercelen te overspannen. De overheid oefent hierop controle uit in het kader van de mer-procedure (zo weinig mogelijk woningen/onbebouwde woonpercelen in de 0,4 μT zone)
- Geen nieuwe gevoelige functies plaatsen in de magneetveldzone van bestaande hoogspanningslijnen;

  Deze aanbeveling werd opgenomen in het richtlijnenboek van Kind & Gezin en wordt opgenomen in het instrument duurzame scholenbouw van AgiON.

Uitgangspunt van deze mededeling is dat de projecten zoals Stevin en Brabo essentieel zijn om de doelstellingen voor groene energie en bevoorradingszekerheid te halen, maar dat die projecten ook ongerustheid veroorzaken bij omwonenden. De mededeling wijst er op dat er daarom een beleid nodig is om een goede afweging mogelijk te maken tussen ruimtelijke inplanting, mogelijke effecten en alternatieve trajecten.

De mededeling verwijst ook naar het consultatietraject dat door het toenmalige Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (nu Departement Omgeving) werd georganiseerd en houdt rekening met de conclusies ervan (zie verder).

1.3.5 Voorzorg

Aangezien bij de mogelijke gezondheidseffecten van ELF magnetische velden vaak gesproken wordt over het toepassen van het voorzorgsprincipe, wordt hier tevens de mededeling van de Europese Commissie (2000) met richtlijnen voor toepassing van het voorzorgsprincipe weergegeven. Volgens deze mededeling moeten maatregelen op basis van het voorzorgsprincipe:

- gebaseerd zijn op een zo volledig mogelijke wetenschappelijke evaluatie. Daarbij moet in iedere fase van de risicoanalyse de mate van wetenschappelijke onzekerheid vastgesteld worden;
- aangepast zijn aan het gewenste beschermingsniveau (proportionaliteitsprincipe);

[11] Met “gevoelige functies” wordt bedoeld scholen en kinderopvangvoorzieningen (buitenschoolse opvang verbonden aan een kinderdagverblijf, crèche, initiatief buitenschoolse opvang, lokale dienst – buitenschoolse opvang, lokale dienst – voorschoolse opvang, onthaalouders, peutertuin, zelfstandig kinderdagverblijf en zelfstandig onthaalouder)

- samenhangend en niet discriminerend zijn. Dit wil zeggen dat ze in aard en omvang gelijkaardig moeten zijn aan vorige maatregelen die voor gelijkaardige risico's zijn genomen en waarvoor er wel voldoende wetenschappelijke gegevens beschikbaar zijn;
- gebaseerd zijn op een analyse van de kosten en baten van te nemen maatregelen of het uitblijven ervan. Dit kan een economische kosten-baten analyse omvatten, maar ook overwegingen zoals de aanvaardbaarheid door het publiek en de doeltreffendheid van mogelijke oplossingen;
- van voorlopige aard zijn: de maatregelen kunnen aangepast of herzien worden in het licht van nieuwe wetenschappelijke gegevens;
- vaststellen wie verantwoordelijk is voor het aanleveren van wetenschappelijke gegevens die nodig zijn voor een verdere risico-evaluatie.

De Wereldgezondheidsorganisatie sluit zich aan bij de Europese aanbevelingen. In het informatieblad over extreem laag frequente velden van de Wereldgezondheidsorganisatie worden bijkomend volgende aanbeveling gegeven voor lidstaten:

> "…Bij het bouwen van nieuwe voorzieningen en het ontwerpen van nieuwe (elektrische) apparatuur kan onderzocht worden of er mogelijkheden zijn om tegen geringe kosten de blootstelling te verminderen. Geschikte maatregelen om blootstelling te verminderen zullen van land tot land verschillen. Er is echter geen rechtvaardiging voor beleid dat is gebaseerd op het vaststellen van willekeurig lage blootstellingslimieten."

In 2001 maakte het International Agency for Research on Cancer (IARC) bekend dat extreem laag frequente magnetische velden in groep 2B worden ingedeeld.[12] Het IARC besloot dit na analyse van verschillende epidemiologische studies en meta-analyses die statistisch verband vastgesteld hadden tussen blootstelling aan extreem laagfrequente (ELF) magnetische velden en een verhoogd risico op kinderleukemie. De indeling in 2B kan aanleiding geven tot het toepassen van het voorzorgsprincipe.

De mogelijke gezondheidsrisico's van wonen in de omgeving van hoogspanningslijnen, transformatorcabines of andere bronnen van magnetische velden, zijn al lang een bron van ongerustheid. Daarom werd een consultatietraject met experten en stakeholders georganiseerd. Doel was om te komen tot een wetenschappelijk onderbouwd en maatschappelijk gedragen rapport met adviezen over het omgaan met bronnen van magnetische velden.

De experts werden geconsulteerd om hun mening te geven over de wetenschappelijke kennis die bestaat over magnetische velden en het verband met kinderleukemie. Er is immers al heel wat onderzoek uitgevoerd naar dit verband. Volgens de experts is er, ondanks het feit dat het niet zeker is dat magnetische velden kinderleukemie kunnen veroorzaken, toch voldoende reden tot voorzorg. Ze geven aan dat er beleid nodig is om om te gaan met het onzekere gezondheidsrisico van magneetvelden.

De maatschappelijke actoren hebben mogelijke maatregelen voorgesteld om de blootstelling aan magneetvelden te verminderen. Zij hebben hiervoor als input de resultaten van de consultatie van de experts gebruikt. De stakeholders geven aan dat een norm of aanbeveling aangewezen is. Die moet afgestemd zijn op de meest kwetsbare groepen, met name kinderen.

[12] IARC kent 4 klasses, namelijk groep 1 (kankerverwekkend voor de mens), groep 2 (waarschijnlijk kankerverwekkend voor de mens), groep 3 (mogelijk kankerverwekkend voor de mens), groep 3 (onvoldoende of ontoereikende evidentie) en groep 4 (waarschijnlijk niet kankerverwekkend).

De Belgische Hoge Gezondheidsraad formuleerde een gelijkaardig advies met bijkomend aandacht voor andere bronnen van magnetische velden. Ondanks het onzekere effect raadt de Hoge Gezondheidsraad (advies nr.8081) uit voorzorg aan om kinderen onder de 15 jaar niet bloot te stellen aan waarden boven de 0,4 μT (gemiddeld over een lange periode). Dit houdt in dat de woonplaats en in het bijzonder de slaapkamer best op voldoende afstand ligt van elektrische installaties zoals hoogspanningslijnen, distributielijnen en transformatieposten.

1.4 In Vlaanderen

1.4.1 Opvolgen onderzoek

De Vlaamse overheid volgt het onderzoek naar gezondheid en de magnetische velden van hoogspanningslijnen van nabij op. Dat gebeurt in samenwerking met experten van IMEC, Universiteit van Gent en Sciensano die ondersteuning geven bij het evalueren en interpreteren van nieuw wetenschappelijk onderzoek of van nieuwe rapporten.

Volgens de experten werd een statistisch verband gevonden tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en het meer voorkomen van kinderleukemie als de langdurige blootstelling meer is dan 0,4 μT (microtesla). Het gaat om een statistisch verband, dat wil niet zeggen dat aangetoond is dat magnetische velden de oorzaak zijn van het meer voorkomen van leukemie.

Ook het recente advies van de Nederlandse Gezondheidsraad wijst op dat statistisch verband met kinderleukemie en geeft tegelijk aan dat het oorzakelijk verband met kinderleukemie niet bewezen is. De Belgische Hoge Gezondheidsraad bereidt momenteel een nieuw advies voor over hoogspanningslijnen en gezondheid.

1.4.2 Rekenmodel

Het Departement Omgeving ontwikkelde samen met IMEC een rekenmodel om de blootstelling aan magnetische velden in de omgeving van hoogspanningslijnen te berekenen. Het rekenmodel kan gebruikt worden bij de ruimtelijke ontwikkeling van gebieden omdat je dan kan bepalen welk ontwikkelingsscenario het minste blootstelling veroorzaakt. Het gaat dan over de inplanting van woningen, sportterreinen en jeugdverblijven. Het rekenmodel wordt daarom ook gebruikt bij advisering van ontwikkelingsplannen in de buurt van hoogspanningslijnen of bij de beoordeling van verschillende scenario's bij de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen.

1.4.3 Kader voor advies

In de mededeling aan de leden van de Vlaamse regering van juni 2012 wordt aangegeven dat er bij de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen een goede afweging moet gemaakt worden tussen effecten op mens en milieu, visuele hinder, geluidshinder, technische mogelijkheden en financiële gevolgen van de keuze voor een bepaald traject. De mededeling bevat een aantal aanbevelingen, gebaseerd op voorzorg en rekening houdend met de andere aspecten:

- Het overspannen van woningen, scholen en kinderdagverblijven bij hoogspanningslijnen tot een minimum te beperken
- Geen nieuwe scholen en kinderdagverblijven in de magneetveldcontour te plaatsen.

In Vlaanderen is er wel een interventiewaarde voor de magnetische velden van hoogspanningslijnen opgenomen in het binnenmilieubesluit die gelijk is aan 20 μT. Naast de norm, is er ook een richtwaarde

die overeenkomt met een aanbeveling en die gelijk is aan 0,4 µT in lijn met de mededeling aan de leden van de Vlaamse regering

Hoogspanningslijnen en de gezondheid van omwonenden.
Effecten van elektromagnetische velden van extreme lage frequenties op de gezondheid van de mens.

Dr. Maurits De Ridder
Vakgroep Volksgezondheid
Universiteit Gent
27 februari 2019

Er bestaat heel wat discussie over de mogelijke effecten van blootstelling aan extreem laag frequente (ELF) elektromagnetische velden rond hoogspanningslijnen op de gezondheid van de mens. Dit is vooral zo sinds de publicatie van een epidemiologische studie in 1979 waarin een mogelijk verband werd gesuggereerd tussen leven in een 'elektromagnetische omgeving' (magnetische velden rond elektriciteitslijnen, MV) en een verhoogd risico op leukemie bij kinderen. Dit verband werd later uitgebreid bestudeerd in de epidemiologie. In 2002 evalueerde IARC (het Internationaal Agentschap voor Onderzoek naar Kanker) de bestaande wetenschappelijke literatuur en klasseerde ELF-MV in groep 2B, zijnde agentia die mogelijk kankerverwekkend zijn bij de mens. Het verhoogd risico (relatief risico van ongeveer 2) zou optreden bij een langdurige (meer dan 1 jaar) dagelijkse gemiddelde blootstelling boven 0,4 microtesla. Latere epidemiologische onderzoeken lijken dit verhoogde risico op leukemie bij kinderen te bevestigen, maar doorgaans met lagere risicoschattingen. Momenteel wordt het relatief risico op 1,5 ingeschat.

Maar in tegenstelling tot epidemiologie blijven experimentele studies in gebreke om mechanismen bloot te leggen die dit verband kunnen verklaren. Hierdoor blijft de discussie (en de onzekerheid) onveranderlijk voortbestaan. Over het algemeen leveren bestaande studies dus nog steeds geen overtuigend bewijs voor een causaal verband tussen ELF-MV en een verhoogd risico op leukemie bij kinderen omdat er geen of onvoldoende aanwijzingen zijn voor het oorzakelijk mechanisme.

Ook zijn er onvoldoende aanwijzingen om ELF-MV blootstelling aan zelf gerapporteerde symptomen (zoals hoofdpijn, vermoeidheid) te verbinden. Zelfverklaarde elektromagnetisch hypergevoelige personen maken nog steeds het onderwerp uit van diverse studies. Er bestaat een consensus dat er onmiskenbaar symptomen zijn met soms ernstige lichamelijke en psychische gevolgen, maar niet dat deze effectief te wijten zijn aan blootstelling aan de elektromagnetische velden. Er zijn eerder aanwijzingen dat dit niet zo is. De perceptie van de aanwezigheid van gevaarlijke elektromagnetische velden lijkt belangrijker dan de reële blootstelling. De meeste onderzoekers nemen aan dat het om een nocebo-effect (negatief verwachtingseffect) gaat.

Behalve het mogelijke verband met leukemie zijn er tot op heden geen andere gegevens die met

zekerheid op schadelijke gevolgen voor de gezondheid wijzen. Genetische effecten (die vaak met een risico op kanker kunnen geassocieerd worden) worden niet of nauwelijks aangetroffen, tenzij bij zeer hoge in vitro blootstellingen (> 100 microtesla), al bestaat er enige onzekerheid m.b.t. mogelijke co-genotoxische effecten (het genetische effect van gekende mutagenen kunnen verhogen in in vitro studies op cellen). In dit kader kan ook gewezen worden op enkele wetenschappelijke rapporten die een 'beschermend' effect aan ELF-MV suggereren. Ook dit staat echter helemaal niet vast en is nog steeds onderwerp van onderzoek.
Onderzoek naar mogelijke effecten van ELF-MV blootstelling op EEG profielen levert zeer heterogene resultaten op zodat goede conclusies achterwege blijven. Hetzelfde geldt voor gedragsstudies.
De laatste tien jaren werd ook gesuggereerd dat ELF-MV kunnen leiden tot een verhoogd risico op neurodegeneratieve ziekten, waaronder dementie (ziekte van Alzheimer). Maar ook hiervoor is er geen overtuigend bewijs geleverd. De epidemiologische studies hieromtrent zijn o.a. te beperkt om statistisch robuuste resultaten te leveren en experimenteel onderzoek is tot op heden ook niet bij machte gebleken om een mogelijk verband met dementie duidelijk aan te geven.
Er is geen bewijs voor ongunstige zwangerschapsresultaten in relatie tot ELF-MV blootstellingen. Recente resultaten tonen ook geen effect van ELF-MV op de menselijke reproductieve functie.

Algemeen besluit.

Behalve het statistisch verband tussen blootstelling aan ELF magnetische velden met een veldsterkte hoger dan 0,4 microtesla en kinderleukemie zijn er geen aanwijzingen dat magnetische velden rond hoogspanningslijnen gezondheidseffecten veroorzaken. Het gevonden verband met kinderleukemie is niet causaal, maar is wel voldoende om een beleid gebaseerd op het voorzorgsprincipe toe te passen. Dit is internationaal (o.a. Wereldgezondheidsorganisatie) en nationaal (o.a. Gezondheidsraad Nederland, Hoge Gezondheidsraad van België) algemeen aanvaard.
In het kader van dit voorzorgbeleid wordt verder onderzoek uitgevoerd en wordt op regelmatige wijze over de evolutie van de kennis gerapporteerd door wetenschappelijke organisaties en instituten.

Besluiten van enkele recente belangrijke overzichtsrapporten.

1. Europa

Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields van SCENIHR, 2015.
Mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden. Wetenschappelijk Comité voor nieuwe en recent vastgestelde gezondheidsrisico's (SCENIHR).
http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf

Het doel van dit advies is om de SCENIHR Opinie van 19 januari 2009 'Gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden' en van 6 juli 2009 'Onderzoeksbehoeften en methodologie om de resterende lacunes in de kennis over de mogelijke gezondheidseffecten van EMV aan te pakken' te actualiseren in het licht van nieuw beschikbare informatie sindsdien, en om speciale aandacht te besteden aan gebieden waar in het vorige advies belangrijke kennislacunes werden geïdentificeerd.

De epidemiologische studies zijn consistent met eerdere bevindingen van een verhoogd risico op kinderleukemie bij geschatte dagelijkse gemiddelde blootstellingen hoger dan 0,3 à 0,4 µT. Zoals opgenomen in de eerdere adviezen, zijn hiervoor geen mechanismen geïdentificeerd en is er van uit experimentele studies geen ondersteuning voor deze bevindingen. Dit, samen met de tekortkomingen van de epidemiologische studies laten geen causale verklaring toe.
Epidemiologische studies bieden geen overtuigend bewijs van een verhoogd risico op neurodegeneratieve ziekten, zoals dementie, in relatie tot ELF-MV blootstelling. Bovendien tonen ze geen bewijs van ongunstige zwangerschapsuitkomsten ten gevolge van ELF-MV. De studies over effecten op de gezondheid van kinderen in relatie tot residentiële ELF-MV blootstelling van hun moeder tijdens de zwangerschap gaan gepaard met methodologische problemen die moeten worden aangepakt. Ze suggereren ongeloofwaardige effecten en moeten afzonderlijk worden gerepliceerd voordat ze kunnen worden gebruikt voor risicobeoordeling. Recente onderzoeken hebben geen effect van de ELF-MV velden op de voortplantingsfunctie van de mens gevonden.

2. Nederland

Hoogspanningslijnen en gezondheid deel I: kanker bij kinderen.
Gezondheidsraad Nr. 2018/08, Nederland (18 april 2018).
https://www.gezondheidsraad.nl/nl/taak-werkwijze/werkterrein/gezonde-leefomgeving/hoogspanning-en-gezondheid-deel-i-kanker-bij-kinderen

De commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad heeft de gegevens over een mogelijke relatie tussen de blootstelling aan magnetische velden die worden opgewekt door bovengrondse en ondergrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kanker bij kinderen opnieuw en in meer detail geanalyseerd, met inbegrip van de meest recente onderzoeken. De meeste onderzoeken meten niet de exacte blootstelling van kinderen, omdat dat te complex en tijdrovend is. In plaats daarvan wordt in sommige onderzoeken gekeken naar de afstand tussen de woning van het kind en de elektriciteitslijn, omdat met toenemende afstand de door de lijn veroorzaakte magneetveldsterkte afneemt en de afstand daarmee een indicatie geeft voor de magneetveldsterkte in de woning. In andere onderzoeken wordt de magneetveldsterkte in de woning bepaald door middel van berekeningen, metingen, of combinaties van beide.

Leukemie bij kinderen.
De meta-analyses van de commissie van de gegevens over afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kinderleukemie laten geen duidelijke associaties met het optreden van kinderleukemie zien. Binnen een afstand van 0 tot 100 meter is er geen duidelijke toename van de risicoschatting naarmate men dichter bij een hoogspanningslijn woont. Bij een afstand van 0 tot 50 meter is het risico naar schatting verhoogd met een factor 1,2 en bij een afstand van 50 tot 100 meter met een factor 1,3. Het risico bij een afstand van 100 tot 200 meter is niet verhoogd, maar die schatting is gebaseerd op slechts drie onderzoeken.
Uit de analyses komen geen duidelijke aanwijzingen dat de hoogte van de spanning op de lijn van invloed is op de hoogte van het risico, maar er is slechts een gering aantal onderzoeken beschikbaar over hoogspanningslijnen met een lijnspanning van 200 kV of meer.
De resultaten van onderzoeken in de meta-analyses zijn heterogeen, wat de zeggingskracht van de uitkomsten van de meta-analyses van de commissie vermindert.
De meta-analyses van de commissie van de gegevens over de gemeten en/of berekende magneetveldsterkte laten wel een duidelijke associatie zien met een verhoogd risico op kinderleukemie. De commissie hecht de meeste waarde aan de analyse waarin alleen de onderzoeken zijn opgenomen die de blootstelling op alle woonadressen van geboorte tot diagnose hebben bepaald, omdat dat naar verhouding het meest representatieve beeld geeft van

de blootstelling over een langere periode. Die analyse geeft aan dat bij een veldsterkte van meer dan 0,3 à 0,4 µT het risico naar schatting 2,7 maal is verhoogd (95% BI 1,6-4,8). Dat is hoger dan de schattingen uit eerdere onderzoeken, al overlappen de betrouwbaarheidsintervallen van de eerdere en huidige risicoschattingen elkaar. Er is echter geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie gevonden. Deze bevindingen bevestigen de uitkomsten van de eerder in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde gepoolde analyses en de eerdere conclusies van de Gezondheidsraad.
Al met al ziet de commissie in de beschikbare gegevens over associaties tussen magneetveldsterkte en een verhoogd risico op kinderleukemie 'aanwijzingen voor een oorzakelijk verband'. Omdat er nauwelijks aanvullend bewijs is uit dierexperimenteel of in vitro-onderzoek en er vooralsnog geen inzicht is in een mogelijk werkingsmechanisme acht de commissie de EPA-classificaties 'waarschijnlijk oorzakelijk verband' en 'bewezen oorzakelijk verband' niet van toepassing.

Andere vormen van kanker bij kinderen.
Van andere vormen van kanker bij kinderen zijn alleen onderzoeksgegevens beschikbaar over hersentumoren en lymfomen, maar alleen voor hersentumoren zijn er voldoende gegevens om analyses uit te voeren. In onderzoeken met alleen afstand als blootstellingsmaat zijn geen aanwijzingen gevonden voor een verband met hersentumoren bij kinderen. In onderzoeken met magneetveldsterkte als blootstellingsmaat lijkt het risico op hersentumoren bijna anderhalf keer zo hoog bij kinderen die in hun woningen langdurig zijn blootgesteld aan gemiddelde magneetveldsterktes van 0,4 microtesla of meer. Bij deze risicoschatting is er sprake van een aanzienlijke onzekerheid en acht de commissie de kans dat de verhoging op toeval berust groter dan bij leukemie.

3. Zweden

Recent onderzoek naar EMV en gezondheidsrisico's. Twaalfde rapport van de Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van SSM, 2017.
Wetenschappelijke Raad van de Zweedse Stralingsveiligheidsautoriteit (SSM), april 2018.
Rapportnummer: 2018: 09 ISSN: 2000-0456 beschikbaar op
https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/publikationer/rapporter/stralskydd/2018/201809/

Dit rapport bespreekt enkel de laatste gepubliceerde studies. Van de recente onderzoeken naar residentiële blootstelling aan ELF-MV en leukemie bij kinderen, vonden er twee studies in de loop van de tijd afnemende risicoschattingen, maar deze bevinding is niet consistent in epidemiologische studies. Al met al blijft het een open vraag naar de oorzaak van de afname van de waargenomen relatieve risico's. Deze studies veranderen niets aan de huidige interpretatie van een waargenomen verband tussen blootstelling aan ELF-MV en kinderleukemie, ook al is er geen causale verklaring.
Onderzoek naar andere uitkomsten is schaars en wijst niet op nieuwe inzichten voor een gezondheidsrisicobeoordeling.
Slechts één humane experimentele studie werd gevonden. Deze vertoont ernstige beperkingen en draagt dus niet bij aan de kennis over acute effecten van de blootstelling aan ELF MV op cognitieve prestaties.

4. België

De Hoge Gezondheidsraad heeft op x maart 2019 advies nr. 9431 met de titel "Invloed op de gezondheid van de bevolking van magnetische velden van elektriciteitsvoorziening" uitgebracht.
https://www.health.belgium.be

Conclusies

Het recente onderzoek en hernieuwde analyses van alle onderzoeksgegevens over de blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening in de woonomgeving in relatie tot de gezondheid veranderen de algemene conclusie van het advies van de Hoge Gezondheidsraad van 2008 niet. Bij blootstelling aan veldsterkten groter dan 0,3 tot 0,4 microtesla wordt een verhoging van het vóórkomen van kinderleukemie gevonden van de orde van grootte van een factor 2. In België zal dat risico, indien het bestaat, volgens een indicatieve schatting op basis van buitenlandse gegevens, overeenkomen met ongeveer één additioneel ziektegeval per twee jaar. Of de magnetische velden de oorzaak van het verhoogd vóórkomen van kinderleukemie zijn, is onzeker, maar kan niet worden uitgesloten. Het is bekend dat magnetische velden, althans bij betrekkelijk kortdurende en relatief hoge blootstelling, veranderingen in lichaamscellen kunnen aanbrengen. Maar hoe die veranderingen een rol spelen bij een mechanisme dat een oorzakelijk verband zou kunnen doen begrijpen, is onduidelijk. Overigens is de blootstelling van de bevolking in het algemeen beduidend lager dan de genoemde waarden van 0,3 en 0,4 microtesla, zo blijkt uit recent Europees onderzoek en eerder Belgische onderzoek.

Over andere aandoeningen bij kinderen of volwassenen in samenhang met blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening geeft het onderzoek geen uitsluitsel. Het meeste onderzoek heeft zich gericht op neurodegeneratieve aandoeningen, die vooral bij oudere volwassenen optreden. Als een verband al bestaat, is het additionele risico op deze aandoeningen zeer beperkt.

Aanbevelingen

Evenals in 2008 beveelt de Hoge Gezondheidsraad de verantwoordelijke overheidsinstanties aan om een beleid te voeren dat in de woonomgeving de blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening beperkt tot 0,4 microtesla. Deze waarde van het magnetische veld mag overigens niet als een grenswaarde worden beschouwd waarboven zeker wel en waaronder zeker niet sprake is van een mogelijke invloed op het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Aangezien het gaat om langdurige blootstelling - jaren - meent de Raad dat uitgegaan moet worden van de over een jaar gemiddelde waarden van het magnetische veld. Hoewel het meeste onderzoek de blootstelling aan magnetische velden van bovengrondse hoogspannings- en distributielijnen betrof, meent de Raad dat bij het beleid tot beperking van de magnetische veldsterkte ook de velden van ondergrondse lijnen moeten worden betrokken.

Net als in zijn eerdere advies beveelt de Hoge Gezondheidsraad aan om bij de beperking van de magnetische veldsterkte ook rekening te houden met elektrische apparatuur met langdurige blootstelling, zoals elektrische wekkers, elektrische dekens en elektrische vloerverwarming. De aandacht richt zich daarbij vooral op de slaapkamer.

Door het opvolgen van de aanbeveling van de Raad tot beperking van de magnetische veldsterkte in de woonomgeving is er daarnaast op grond van wat nu bekend is, geen reden om een additioneel gezondheidsrisico op in het bijzonder neurodegeneratieve ziekten te veronderstellen.

Verklarende aanvullingen

<u>Wetenschappelijke evidentie voor een oorzakelijk verband tussen een blootstelling aan een omgevingsfactor en het ontstaan van kanker.</u>

Bij het onderzoeken van een associatie tussen de blootstelling aan een agens en het later optreden van kanker verzamelt men alle relevante studies die ooit in wetenschappelijke tijdschriften of rapporten zijn gepubliceerd. Vervolgens elimineert men de studies van mindere kwaliteit. Van de kwaliteitsvolle studies maakt men een systematische review en indien mogelijk een meta-analyse om te zien of er een statistisch relevant verhoogd risico is.
Indien er een verhoogd risico wordt vastgesteld gaat men na hoe sterk de bewijskracht is voor een oorzakelijk verband. Hierbij hanteert men een classificatie van evidentie. Vaak wordt daarbij de systematiek gebruikt van het Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA), dat de volgende classificaties onderscheidt:

- oorzakelijk verband bewezen;
- oorzakelijk verband waarschijnlijk;
- aanwijzingen voor oorzakelijk verband;
- uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk;
- oorzakelijk verband onwaarschijnlijk.

Een andere veel gebruikte classificatie is deze van het International Agency for Research on Cancer (IARC) die 4 groepen hanteert:

Het agens is carcinogeen voor de mens (Groep 1)
Voorbeelden: asbest, benzeen, sigarettenrook, dieseluitlaatgassen, lasrook.
Deze categorie is van toepassing wanneer er voldoende aanwijzingen zijn voor carcinogeniteit bij de mens. Bovendien kan deze categorie van toepassing zijn wanneer er bij de blootgestelde mens sterk bewijs is dat het middel de belangrijkste kenmerken van kankerverwekkende stoffen vertoont en er voldoende bewijs van carcinogeniteit is bij proefdieren.

Het agens is waarschijnlijk carcinogeen voor de mens (Groep 2A)
Voorbeelden: styreen, consumptie van rood vlees.
Deze categorie is over het algemeen van toepassing wanneer ten minste twee van de volgende evaluaties van toepassing zijn:

- Beperkt bewijs van carcinogeniteit bij mensen,
- Voldoende bewijs voor carcinogeniteit bij proefdieren,
- Sterk bewijs dat het middel de belangrijkste kenmerken van kankerverwekkende stoffen vertoont.

Als er onvoldoende bewijs is met betrekking tot carcinogeniteit bij mensen, moet er sterk bewijs zijn in menselijke cellen of weefsels dat het middel de belangrijkste kenmerken van kankerverwekkende stoffen vertoont. Als er beperkte aanwijzingen zijn voor carcinogeniteit bij de mens, kan de tweede individuele evaluatie van experimentele systemen komen (dat wil zeggen voldoende bewijs van carcinogeniteit bij proefdieren, of sterk bewijs in experimentele systemen dat het middel de belangrijkste kenmerken van carcinogenen vertoont).

Het agens is mogelijk carcinogeen voor de mens (Groep 2B)
Voorbeelden: lood, nikkel, benzine, refractaire keramische vezels, ginko biloba extract.
Deze categorie is over het algemeen van toepassing wanneer slechts één van de volgende evaluaties van toepassing is:

- Beperkt bewijs van carcinogeniteit bij mensen,
- Voldoende bewijs voor carcinogeniteit bij proefdieren,
- Sterk bewijs dat het middel de belangrijkste kenmerken van kankerverwekkende stoffen vertoont

Omdat deze categorie gebaseerd kan zijn op bewijsmateriaal uit alleen studies bij proefdieren, is er geen vereiste van een sterke mechanistische bewijs in blootgestelde mensen of in menselijke cellen of weefsels. Deze categorie kan gebaseerd zijn op sterk bewijs in experimentele systemen dat het middel de belangrijkste kenmerken van kankerverwekkende stoffen vertoont.

Het is niet mogelijk het agens een classificatie te geven voor wat betreft de carcinogeniciteit voor de mens van (Groep 3)
Voorbeelden: caffeine, saccharine, paracetamol.
Agentia die niet in een andere groep vallen, worden over het algemeen in deze categorie geplaatst. Dit is het geval wanneer er sterke aanwijzingen zijn dat het mechanisme van carcinogeniteit bij proefdieren niet aanwezig is bij mensen.
Een evaluatie in Groep 3 is geen bepaling van niet-carcinogeniteit of algemene veiligheid. Het betekent vaak dat het middel een onbekend carcinogeen potentieel heeft en dat er aanzienlijke gaten in het onderzoek zijn. Als het bewijs suggereert dat het middel geen carcinogene activiteit vertoont, hetzij door bewijs dat een gebrek aan carcinogeniteit bij zowel mensen als proefdieren suggereert, of door bewijs dat een gebrek aan carcinogeniteit bij proefdieren suggereert, aangevuld met sterk negatief mechanistisch bewijs in testen die relevant zijn voor menselijke kanker, kan de werkgroep een zin toevoegen aan de evaluatie om het middel te karakteriseren als ‘goed bestudeerd en zonder aanwijzingen voor carcinogene activiteit’.

<u>Kennis over de invloed van omgevingsfactoren op het ontstaan van kinderleukemie.</u>

In 2012 werd door de Belgische Hoge gezondheidsraad en de Nederlandse Gezondheidsraad samen een rapport opgemaakt over de invloed van omgevingsfactoren op het ontstaan van leukemie bij kinderen. Ze kwamen tot de volgende conclusie.
In België, Nederland en andere landen in Noordwest Europa worden elk jaar 5 op de 100.000 kinderen getroffen door leukemie. Het gemiddelde aantal nieuwe gevallen per jaar lag recent rond de 80 in België, en rond de 140 in Nederland. Het grootste deel van de jonge patiëntjes lijdt aan acute lymfatische leukemie (ALL). Een kleiner percentage heeft acute myeloïde leukemie (AML). Dankzij de verbeteringen in behandeling en zorg die de afgelopen decennia in West-Europese landen zijn gerealiseerd, overleeft zo’n 85% van de kinderen met ALL de eerste vijf jaar na de diagnose, en circa 60% van de kinderen met AML.
Door het complexe samenspel tussen genetische afwijkingen en blootstelling aan natuurlijke en kunstmatige omgevingsfactoren is het lastig een helder beeld te krijgen van de rol die individuele factoren spelen. Op grond van de beschikbare kennis is de belangrijkste conclusie dan ook dat het merendeel van de gevallen van kinderleukemie niet verklaard kan worden, en dat slechts een klein deel te voorkomen zal zijn.
Alleen voor ioniserende straling is een oorzakelijk verband met kinderleukemie gevonden dat beschouwd kan worden als ‘aangetoond’. Blootstelling aan dit type straling komt van nature voor, maar ontstaat ook door medische toepassingen, zoals röntgenfoto’s en in het bijzonder CT-scans.
Een verband tussen kinderleukemie en blootstelling aan benzeen is op basis van de huidige kennis beoordeeld als ‘waarschijnlijk’. Voor het roken door ouders en blootstelling aan bestrijdingsmiddelen is het bestaan van een verband beoordeeld als ‘mogelijk tot waarschijnlijk’. Verder zijn er twee beschermende invloeden die als ‘waarschijnlijk’ zijn gelabeld: het krijgen van borstvoeding en het bezoeken van een kinderdagverblijf of andere contacten tussen jonge kinderen.

Voor het merendeel van de fysische, chemische en andere omgevingsinvloeden die bestudeerd zijn kan het verband met kinderleukemie niet sterker worden aangeduid dan als ‘mogelijk’, ‘onzeker’ of ‘onbekend’.

Het relatief risico op kinderleukemie in relatie tot blootstelling aan 50/60 Hz magnetische velden in de epidemiologische studies van de afgelopen 40 jaar.

Sinds 1979 zijn tientallen epidemiologische studies uitgevoerd over het verband tussen blootstelling aan ELF elektromagnetische velden en het voorkomen van leukemie bij kinderen. In een gepoolde analyse van 2000 werd een relatief risico van 2 vastgesteld voor een gemiddelde blootstelling hoger dan 0,4 µT. In een recentere gepoolde analyse van 2010 was dit nog 1,5. Het lijkt alsof het risico gedaald is in de tijd. In 2019 werd door Swanson et al. verder onderzocht of dit effectief zo is, en welke mogelijke verklaringen hier voor zijn. Het cumulatief risico is inderdaad gedaald van 2,44 in 1997 tot 1,58 in 2017. Het is echter niet mogelijk hier een afdoende verklaring voor te geven. Andere onderzoeksmethodes en blootstellingsbepaling zijn mogelijk, maar het kan even goed om publicatiebias (vroeger werden studies die geen associatie vonden minder snel gepubliceerd) of toeval gaan. Voor alternatieve verklaringen gelinkt aan hoogspanningslijnen zijn ook geen aanwijzingen.

Relatief risico versus absoluut risico.

Het relatief risico is de verhouding tussen het risico (op een aandoening) van de blootgestelde populatie ten overstaan van een niet-blootgestelde populatie. De kans dat een kind leukemie krijgt is ongeveer 1 op 2000. Een kind met een blootstelling met een relatief risico van 2 heeft dan een kans van 2 op 2000.
Het absoluut risico is het aantal extra gevallen van ziekte die jaarlijks in een populatie ontstaan ten gevolge van een blootstelling en is afhankelijk van de incidentie van de ziekte, het aantal blootgestelden en het relatief risico. In Nederland wordt het absoluut risico van het ganse elektriciteitsnet bij een relatief risico van 2 geschat op 1 geval van kinderleukemie om de 2 jaar (een totaal van circa 2,8 miljoen kinderen t/m 15 jaar waarvan 15.000 met blootstelling hoger dan 0,4 µT en ongeveer 135 nieuwe gevallen van kinderleukemie per jaar).

De Franse Geocap studie.

In 2013 werd de Franse Geocap studie gepubliceerd. Deze studie is bijzonder interessant omdat ze als onderzoeksgebied het ganse Franse grondgebied had. Het onderzoek omvatte alle 2779 gevallen van acute leukemie bij kinderen gediagnosticeerd in Frankrijk in de periode 2002-2007 en 30 000 gelijktijdige populatiecontroles.
Men kwam tot de conclusie dat wonen op minder dan 50 meter van een hoogspanningslijn van 225 of 400 kV geassocieerd was met een verhoogde incidentie van acute leukemie bij kinderen. Er werd geen toename van het risico waargenomen op grotere afstand rond deze lijnen Er werd geen toename van het risico op acute leukemie bij kinderen waargenomen binnen de 50 m van hoogspanningslijnen van 63-150 kV. Het splitsen van de studiegroep in kinderen jonger dan 5 jaar en kinderen ouder dan 5 jaar toonde aan dat de associatie alleen werd waargenomen voor de jongere groep.

Bijlage 5.3 Klankbordgroep Gezondheid
Samenvattend rapport consultatie experten

1 Toelichting

Uit de inspraakperiode van de startnota van het GRUP Ventilus in 2019 bleek een **grote bezorgdheid** te bestaan over de impact van hoogspanning op de gezondheid. De afgelopen 40 jaar zijn veel studies uitgevoerd. Het onderzoek naar (mogelijke) effecten van milieufactoren op gezondheid is een complexe materie. Hierdoor is het is niet eenvoudig voor niet-experten om de kwaliteit van deze diverse onderzoeken te beoordelen.

Een **klankbordgroep gezondheid** werd opgericht om duidelijkheid te scheppen over de studies en (mogelijk) effecten van hoogspanning op de gezondheid. Een aantal experten heeft via de inbreng van kennis en expertise de bestaande onderzoeken gevalideerd. Dit gebeurde door een bevattelijk overzicht te maken van alle wetenschappelijke kennis die is opgebouwd en deze studies aan de hand van diverse criteria te beoordelen. Daarnaast heeft het planteam de vragen uit de inspraakperiode voorgelegd aan de experten.

Dit document bevat het **samenvattend rapport van de consultatieronde** met deze experten. Eerst wordt een overzicht gegeven van essentiële achtergrondinformatie om dit rapport beter te begrijpen. Daarna worden de experten die werden geraadpleegd kort voorgesteld. Ten slotte, worden 4 thematische categorieën onderscheiden en besproken:

1. Rol van technologie en stroombelasting;
2. Hoogspanning en gezondheidseffecten;
3. Omgevingsfactoren;
4. Beleid.

De klankbordgroep adviseert het planteam in het **verder verloop van het planproces** ook over gezondheid met betrekking tot de beoordeling van het plan-MER en de inpassing van milderende maatregelen die daaruit voortkomen. Aangezien dit advies nog niet heeft plaatsgevonden, is hierover geen informatie opgenomen in dit samenvattend rapport.

2 Achtergrondinformatie

Hieronder kan u de nodige achtergrondinformatie vinden die u **helpt bij het lezen en begrijpen** van dit document.

- **Procesnota 2 van het GRUP**. Dit omschrijft het procesverloop, waaronder de oprichting van de klankbordgroep gezondheid (p24).
  http://doc.ruimtevlaanderen.be/GRUP/00450/00513_00001/data/RUP_02000_212_00513_00001_PN_ST_2.pdf

- **Beleidskader over gezondheid en blootstelling**. Dit wordt door de Vlaamse overheid gebruikt voor het omgaan met hoogspanningslijnen dat als benchmark moet dienen voor de aanpak van dit project. Dit was als bijlage opgenomen in de startnota van het GRUP-proces.
  http://doc.ruimtevlaanderen.be/GRUP/00450/00513_00001/data/RUP_02000_212_00513_00001_AD_ST_Elektromagnetische_velden.pdf

- **Hoogspanningslijnen en de gezondheid van omwonenden**. Overzicht van onderzoek naar de effecten van elektromagnetische velden van extreme lage frequenties op de gezondheid van de mens. Dit document met een overzicht van enkele recente belangrijke overzichtsrapporten is opgemaakt door Dr. Maurits De Ridder en was als bijlage opgenomen in de startnota van het GRUP-proces.
  http://doc.ruimtevlaanderen.be/GRUP/00450/00513_00001/data/RUP_02000_212_00513_00001_AD_ST_Bijlage_12_6_8_ElektromagnetischeVeldenEnGezondheid.pdf

- **Recent overzicht van de conclusies van expertrapporten** die de Vlaamse overheid als basis neemt voor omgaan met de gezondheidsrisico's:
  https://researchportal.be/nl/publicatie/overzicht-van-recente-globale-evaluaties-van-de-potentiele-gezondheidsrisicos-van

- **Publicatie over het rekenmodel** dat het departement Omgeving gebruikt voor de berekening van de magneetveldcontouren. Dit model werd gemaakt door ULG en IMEC:
  https://researchportal.be/en/publication/qgis-calculation-method-evaluation-elf-electromagnetic-field-exposure-general-public

- **Besluit van de Vlaamse Regering** houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu van 11 juni 2004, gewijzigd bij het besluit van de Vlaamse Regering van 13 juli 2018. Dit besluit bevat richtlijnen die een gezond binnenmilieu omschrijven, dit onder de vorm van richtwaarden en interventiewaarden, oa. voor magneetvelden:
  https://codex.vlaanderen.be/Portals/Codex/documenten/1013487.html

Met opmerkingen [DMG1]: Dit moet dan procesnota 3 worden of schrijven we algemeen: de procesnota van het GRUP?

3 Geraadpleegde experten

De experten werden **geselecteerd omwille van hun wetenschappelijke kennis** over de verschillende aspecten van magnetische velden en gezondheid. De groep is multidisciplinair (arts, experten blootstelling, experten epidemiologie, risico-evaluatie, statistiek, dosimetrie, beleid en risicocommunicatie). Dit is de lijst van experten die input heeft bezorgd.

Naam	Specialiteit	Instituut
Eva De Clercq	Risk and Health impact assessment	Sciensano
Maurits De Ridder	Geneesheer, Epidemioloog	Arts / Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg Universiteit Gent
Gert Kelfkens	Overheid, Risicocommunicatie, Dosimetrie	RIVM
Wout Joseph	Blootstelling	Universiteit Gent - IMEC
Guy Vandenbosch	Blootstelling / technologie	Katholieke Universiteit Leuven
Dirk Adang	Voorzitter permanente werkgroep NIS / Biologische en Gezondheidseffecten van niet-ioniserende straling	Hoge Gezondheidsraad / Universiteit Hasselt

4 Samenvattend rapport per thema

4.1 Rol van technologie en stroombelasting

De keuze van technologie **bepaalt mee de kenmerken van het elektromagnetisch veld** in de buurt van een hoogspanningsinfrastructuur. Voor het project Ventilus worden verschillende technologieën onderzocht: gelijkstroom en wisselstroom. Ook wijze van aanleg via een (gedeeltelijke) ondergrondse hoogspanningsverbinding of het type hoogspanningsmasten dat wordt gekozen, kan een impact hebben op het elektromagnetisch veld. Hieronder worden enkele thema's besproken omtrent het verschil in blootstelling die gelinkt kunnen worden aan technologische keuzes voor Ventilus.

Ondergrondse kabelverbinding

Bij een ondergrondse wisselstroomverbinding (AC) is de **magneetveldcontour veel minder breed** dan bij een bovengrondse luchtlijn. Dit komt omdat de geleiders dichter bij elkaar liggen. Boven de geleiders zijn de **waarden hoger** omdat de geleiders dichter bij het grondoppervlak zijn ten opzichte van de geleiders van een luchtlijn. Dit **verschil kan tientallen meters bedragen** en is vanuit het oogpunt van ruimtelijke ordening zeker relevant. Dat geldt ook als de ondergrondse kabels in een minder optimale configuratie – parallel in plaats van klaververband – worden aangelegd, al wordt het verschil daardoor natuurlijk kleiner.

Een ondergrondse kabelverbinding op spanningsniveau 380kV aanleggen is geen evidentie. Om hetzelfde vermogen te kunnen transporteren dan een bovengrondse luchtlijn met meerdere circuits heb je een **veelvoud aan ondergrondse kabelverbindingen** nodig. Informatie voor het Stevin-project illustreert de grootorde van dit verschil. De afstandswaarden voor de bovengrondse en ondergrondse verbinding waarop de magnetische velden terugvallen op 0,4µT bedragen bij dit project respectievelijk 58 meter van de as van de lijn en 22 meter van de as van de verbinding, oftewel 16 meter vanaf de buitenste kabel gezien.

Er moeten **diverse factoren in overweging worden genomen** om een uitspraak te kunnen doen over de relevantie van dit verschil. Milieueffecten en technische aspecten moeten worden meegenomen in de afweging tussen een ondergrondse of bovengrondse aanleg. Dit moet bovendien geval per geval bekeken worden: per alternatief tracé kan men zien hoeveel huizen en kinderen blootgesteld worden.

Hoogspanning in gelijkstroom

De aanwijzingen op wetenschappelijke basis voor mogelijke **gezondheidseffecten zijn beperkt tot wisselstroom en gelden niet voor gelijkstroom**. Hoewel er weinig onderzoek is gedaan naar gelijkstroom zijn daar – voor veldsterkten zoals die op voor publiek toegankelijke plaatsen kunnen optreden – geen gezondheidseffecten gerapporteerd. De Europese Unie heeft in een aanbeveling met betrekking tot de blootstelling van de bevolking aan magneetvelden afkomstig van gelijkstroom het **referentieniveau op 40.000 microtesla vastgelegd**[1]. Een aantal recente studies[2] bevestigen deze conclusie.

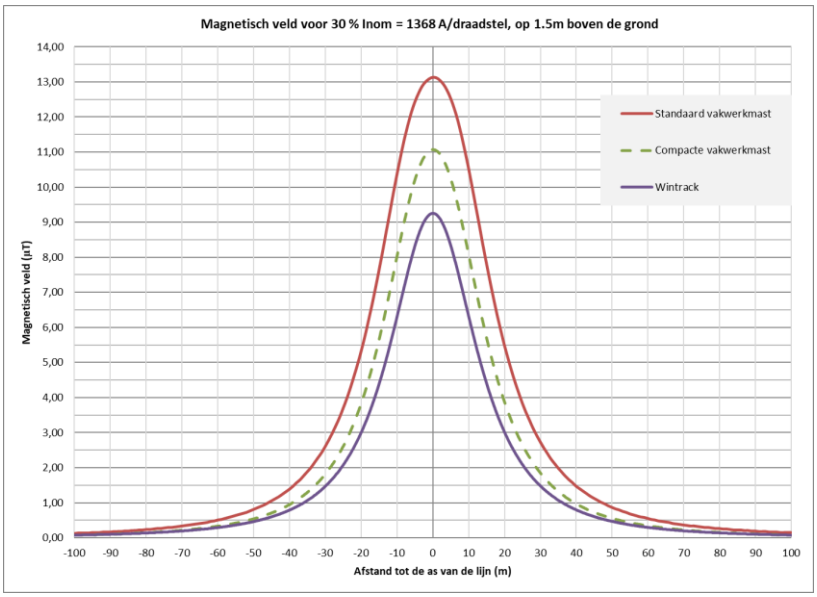
[1] Het magneetveld bij een gelijkstroomverbinding is gemiddeld lager (ongeveer 50 µT).

[2] Petri AK, et al. Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: a systematic review. Environ Health. 2017;16(1):41. Published 2017 Apr 17
Schmiedchen K, et al. Systematic review of biological effects of exposure to static electric fields. Part II: Invertebrates and plants. Environ Res. 2018;160:60–76. doi:10.1016/j.envres.2017.09.013

Mastontwerp

De compacte masten die Elia voorstelt voor het project Ventilus hebben **geïsoleerde mastarmen**, waardoor de geleiders dichter bij elkaar hangen dan bij "klassieke" vakwerkmasten. Deze compacte masten werden ontworpen om een **vermindering van de grootte van de magneetveldcontour** te geven. De geleiders worden in transpositie geplaatst wat de grootte van de contour ook verder vermindert.

De Nederlandse netbeheerder TenneT heeft een masttype ontworpen met dezelfde doelstelling, waarbij in plaats van 1 mast telkens 2 masten vlak bij elkaar gebouwd worden. Dit type heet **Wintrackmasten**. Ook hierbij worden de geleiders in transpositie geplaatst. Berekeningen door het Departement Omgeving geven aan dat de Wintrackmasten een **nog beperkter magnetisch veld** hebben dan de compacte vakwerkmasten. In de onderstaande afbeelding is het verschil van het magneetveld bij verschillende masten zichtbaar.



Ten opzichte van klassieke vakwerkmasten is een versmalling van de magneetveldzone door een **geoptimaliseerd mastontwerp en transpositie zeker relevant**. Maar het is twijfelachtig of kleine onderlinge verschillen relevant zijn ten opzichte van de onzekerheden in onderliggende epidemiologische gegevens over het statistische verband tussen langdurige blootstelling aan elektromagnetische velden en de verhoogde kans op kinderleukemie. Volgens het **voorzorgsprincipe** moet men kiezen voor de technische oplossing die de laagste blootstelling geeft, op voorwaarde dat dit geen excessieve kosten meebrengt.

ICNIRP Guideline static magnetic fields 2009 en SCENIHR 2015 (3.9).

Nabijheid van andere hoogspanningsinfrastructuur

De magneetvelden van **hoogspanningslijnen in wisselstroom (AC) beïnvloeden elkaar**. Dat kan zowel tot verhoging als verlaging van de magneetveldsterkte leiden op een bepaalde locatie. Het bijbouwen van een hoogspanningslijn met dezelfde eigenschappen hoeft daarom zeker niet tot een verdubbeling van de sterkte van het magneetveld te leiden, dat hangt af van de eigenschappen (fasen, belasting) van beide hoogpanningslijnen en kan berekend worden.

Blootstelling bij hogere vermogens en piekwaarden

De rechtstreekse bron van het magnetisch veld is niet de spanning (380 kV), noch het vermogen (6 GW), maar de stroom die nodig is om dat vermogen bij die spanning over te brengen. Hoe groter de spanning, hoe kleiner de stroom die men nodig heeft om eenzelfde vermogen over te brengen. Voor de blootstelling aan magnetische velden is een **hoge spanning in eerste instantie een voordeel**.

De sterkte van het magneetveld neemt toe bij hogere belasting van een hoogspanningsverbinding. De **magneetveldsterkte is evenredig met de stroom** door de lijn, dus een twee keer zo hoge stroom (belasting) betekent een twee keer zo sterk magneetveld. Het begrip 'piekbelasting' is hier enigszins verwarrend. Voor gezondheidseffecten is het van belang een goede schatting van het jaargemiddelde magneetveld te maken. Omdat de schatting in een bepaald jaar weinig zegt over toekomstige magneetvelden is het gebruikelijk de stroom in de berekening van de magneetveldzone te relateren aan het maximale vermogen van de hoogspanningslijn. Voor Ventilus wordt op basis van scenario's verwacht dat de jaargemiddelde belasting maximaal 30% van dit maximale vermogen zal zijn.

Het is zinvol om berekeningen met piekbelasting te doen om die te vergelijken met de limietwaarden voor acute effecten (100 µT in de Europese aanbeveling). Het is niet zinvol om de piekbelasting te vergelijken met de 0,4 µT, want dat is een gemiddelde over een jaar. **Toepassen van voorzorg** moet gericht zijn op preventie van mogelijke lange termijneffecten en deze zijn **gelinkt aan een gemiddelde blootstelling** over een periode van een jaar en niet voor de limietwaarden.

Een **rekenmodel is een geschikte manier** om de magneetveldsterkte te bepalen. In een berekening kan men rekening houden met toekomstige belasting van de hoogspanningslijn, bijvoorbeeld door de rekenstroom te relateren aan de maximale belasting. Een meting geeft alleen een momentopname. Metingen voor en na de aanleg van een hoogspanningslijn kunnen nuttig zijn. Metingen kunnen twee doelen hebben. Allereerst om te laten zien in hoeverre de magneetveldsterkte op een bepaalde plek door het aanleggen van de lijn verandert. Maar ook om te valideren of de modelberekeningen overeenkomen met de gemeten magneetveldsterktes. Het RIVM heeft op beide doelen een rapport gepubliceerd[3].

[3] Magneetvelden nabij Rokkeveen: meting voor en na ingebruikname van een nieuwe hoogspanningslijn' Kelfkens et al, RIVM rapport 2014-0134, RIVM 2014,
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0134.pdf
'Validatieonderzoek berekeningsmethodiek magneetveldzone in Maartensdijk' (Validatieonderzoek berekeningsmethodiek magneetveldzone in Maartensdijk, J.F.B. Bolte et al, RIVM rapport 2014
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0133.pdf

4.2 Hoogspanning en gezondheidseffecten

Voor de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan laagfrequente elektromagnetische velden, baseert de Vlaamse overheid zich op een overzicht van recente expertbeoordelingen van het wetenschappelijk onderbouwd onderzoek. Hieronder volgt een **thematisch overzicht van verschillende wetenschappelijke inzichten** met betrekking tot eventuele gezondheidseffecten van wonen in de buurt van een hoogspanningsverbinding. Vooraleer in detail te treden, worden enkele principes van de wetenschappelijke besluitvorming toegelicht.

Wetenschappelijke besluitvorming

De experten bevestigen dat onderstaand schema kan toegepast worden op magnetische velden

Hoe komt men tot een oorzakelijk verband of causaliteit? De aanwijzingen voor gezondheidseffecten in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen volgen uit bevolkingsonderzoek dat groepen kinderen vergelijkt die dichtbij en ver van een hoogspanningslijn wonen. Dat onderzoek kan nooit een causaal verband aantonen, maar alleen een bepaald statistisch verband laten zien. Ondersteuning voor een causaal verband kan komen uit proefdierexperimenten die hetzelfde effect laten zien. Tot slot is er nog een mechanisme nodig dat verklaart hoe het magneetveld in menselijke cellen tot het bestudeerde effect kan leiden. De laatste twee stappen ontbreken in het geval van magneetvelden en leukemie bij kinderen (zie verder).

Er bestaat **niet één welomlijnd type studie die een causaal of oorzakelijk verband kan aantonen**. Een causaal verband wordt gestaafd op basis van een grote collectie wetenschappelijke studies. Binnen de epidemiologie worden de criteria van Bradford-Hill gehanteerd: grootte correlatie tussen blootstelling en effect, reproduceerbaarheid, specificiteit, tijdelijkheid, dosis-respons, aannemelijkheid biologische verklaring, coherentie epidemiologische en laboresultaten. Als aan de meerderheid van deze criteria is voldaan, kan men besluiten dat er een oorzakelijk verband bestaat.

Evaluatie mogelijke gezondheidseffecten

Tijdens de publieke raadpleging werd gevraagd om mogelijke effecten van elektromagnetische velden op de gezondheid van de mens in kaart te brengen, waaronder een groot aantal symptomen, stoornissen en aandoeningen. Het opstellen van een **overzicht voor individuele symptomen is niet evident**, want de meerderheid van wetenschappelijke studies concentreert zich op één bepaalde problematiek. Voor elke problematiek wordt een lijst van mogelijke symptomen gemaakt, en vervolgens als groep bestudeerd.

Er zijn bijgevolg **weinig data beschikbaar** inzake het voorkomen van individuele symptomen en de relatie met blootstelling aan elektromagnetische velden. Dit gaat dan voornamelijk over:

- Hoofdpijn
- Oververmoeidheid
- Hartritmestoornissen
- Slaapproblemen
- Duizeligheid
- Wisselende suikerspiegel
- Oogproblemen
- Huidproblemen
- Piepende oren (tinitus)
- Depressieve gevoelens
- Spierzwakte
- Krampen
- Tintelingen
- Concentratiestoornissen
- Stress
- Chronische vermoeidheid
- Invloed op het mentale welzijn
- Kriebeling huid, tinteling, elektrische schokken
- Allergische reacties
- Reuma

Uit wetenschappelijk onderzoek en analyses van alle gegevens blijkt dat bij een blootstelling aan magnetische velden groter dan 0,4 µT een verhoging van het voorkomen van kinderleukemie wordt vastgesteld. Of de magnetische velden de oorzaak zijn van het verhoogd vóórkomen van kinderleukemie, is onzeker, maar kan niet worden uitgesloten. Voor volwassenen die in de buurt van hoogspanningslijnen wonen wordt een dergelijk verhoogd risico niet gevonden. Daarmee vormen **kinderen een kwetsbare groep die mogelijk gevoeliger zijn** voor dergelijke magneetvelden.

Over **andere aandoeningen** bij kinderen of volwassenen geeft het huidige onderzoek geen uitsluitsel. Het meeste onderzoek heeft zich gericht op neurodegeneratieve aandoeningen, die vooral bij oudere volwassenen optreden. Als een verband al bestaat, is het additionele risico op deze aandoeningen zeer beperkt en bovendien is er – op grond van wat nu bekend is – **geen reden om dit te veronderstellen**.

Effecten	Strength of evidence
Kanker effecten	
Leukemie bij kinderen	Beperkt
Hersentumoren bij kinderen	Inadequaat
Hersentumoren bij volwassen	Inadequaat
Borstkanker bij volwassen	Geen effecten
Andere kanker (kinderen of volwassen)	Inadequaat
Neurodegeneratieve aandoeningen	
Ziekte van Alzheimer	Inadequaat
Amyotrofische laterale sclerose (ALS)	Inadequaat
Andere neurodegeneratieve aandoeningen	Inadequaat
Effecten op de reproductie	
al effecten	Inadequaat
Cardiovascular aandoeningen	
al aandoeningen	Geen effecten
Welbehagen	
Elektromagnetische hypergevoeligheid	Geen effecten
Symptomen	Inadequaat

Voor verschillende van deze effecten wordt de **bewijskracht als "inadequaat" geklasseerd.** Een wetenschappelijk aanpak vereist dat eerst alle gepubliceerde onderzoeken op basis van objectieve criteria op kwaliteit worden beoordeeld, waardoor een deel van de bestaande onderzoeken afvalt. Het overblijvende deel van onderzoeken die voldoende van kwaliteit zijn, wordt dan als geheel beoordeeld.

Als **bijvoorbeeld** meer dan de helft van alle onderzoeken het gezochte effect laten zien, kan worden geconcludeerd dat er aanwijzingen zijn voor dat effect. Laat meer dan bijvoorbeeld de helft of driekwart van de onderzoeken geen effect zien, dan is er inadequaat bewijs voor het effect. Ook als er een of te weinig onderzoeken overblijven is er inadequaat bewijs voor het effect. Als alle onderzoeken (of het overgrote deel) geen effect laten zien, kan worden geconcludeerd dat er geen bewijs is voor het onderzochte effect.

Hieronder meer duiding bij de evaluatie van enkele effecten in functie van de huidige bewijskracht (beperkt, inadequaat en geen).

- **Kinderleukemie (beperkt)**

Sinds de publicatie in 1979 over een mogelijk verband tussen wonen in een 'elektromagnetische omgeving' (magnetische velden rond elektriciteitslijnen, MV) en een verhoogd risico op leukemie bij kinderen, is dit **verband uitgebreid bestudeerd** in de epidemiologie. De experten onderschrijven dat een statistisch verhoogd risico zou optreden bij een langdurige dagelijkse gemiddelde blootstelling boven 0,4 microtesla.

In de meta-analyse van Ahlbom van 20 jaar geleden (de toenmalige studies die uitgevoerd werden volgens de criteria van goed wetenschappelijk onderzoek) vond men een relatief risico gelijk aan 2 voor > 0,4 µT. Recentere epidemiologische onderzoeken bevestigen dit verhoogde risico op leukemie bij kinderen, maar doorgaans met lagere risicoschattingen. Maar op basis van het totaal aan wetenschappelijke gegevens concluderen de onderzoekers dat er een **consistente statistische associatie** is tussen blootstelling aan magneetvelden bij bovengrondse hoogspanningslijnen en kinderleukemie. Die conclusie is dus niet veranderd.

Inzake kinderleukemie willen we eveneens wijzen op een lopende meta-analyse studie uitgevoerd door ULiège, waarvan de publicatie in 2021 verwacht wordt. We verwijzen hiervoor naar onderstaande link: https://www.bbemg.uliege.be/meta-analyse-van-leukemie-bij-kinderen/?lang=nl

- **Alzheimer (inadequaat)**

Het onderzoek van Huss[4] vindt een verhoogde kans op overlijden aan de ziekte van Alzheimer bij volwassenen die langdurig, dicht bij een bovengrondse hoogspanningslijn wonen. Het onderzoek van Frei[5] vindt dit verband niet. Er kan dus **geen conclusie getrokken** worden over dit gezondheidseffect.

- **Hersentumoren (inadequaat)**

De Nederlandse Gezondheidsraad signaleert "In onderzoeken met magneetveldsterkte als blootstellingsmaat lijkt het risico op hersentumoren bijna anderhalf keer zo hoog bij kinderen die in hun woningen langdurig zijn blootgesteld aan gemiddelde magneetveldsterktes van 0,4 microtesla of meer. Bij deze risicoschatting is er sprake van een aanzienlijke onzekerheid en acht de commissie de kans dat de verhoging op toeval berust groter dan bij leukemie." Onderzoek naar hersentumoren wordt ook vermeld in het Anses-rapport van 2019. Daarin wordt geconcludeerd dat er **te weinig gegevens zijn om te besluiten of er al dan niet een verband is** met hersentumoren.

[4] Huss A, et al. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. Am J Epidemiol. 2009 Jan 15;169(2):167-75.
[5] Frei P, et al. Residential distance to high-voltage power lines and risk of neurodegenerative diseases: a Danish population-based case-control study. Am J Epidemiol. 2013 May 1;177(9):970-8.

- **Hypergevoeligheid (geen)**

Ziekteverschijnselen (hoofdpijn, vermoeidheid, concentratieproblemen, etc.) zonder aanwijsbare externe, milieu gerelateerde oorzaak worden verzameld onder de term Idiopatische Milieu gerelateerde Intolerantie (IEI). IEI beschrijft de algemene **gezondheidseffecten waarvan patiënten overtuigd zijn dat ze veroorzaakt worden door externe factoren** zoals elektromagnetische velden of chemische stoffen. Vaak wordt dan gezegd dat mensen overgevoelig zijn voor elektromagnetische straling, elektro-hypersensitieve personen (EHS).

Deze verschijnselen komen voor bij stralingsintensiteiten die veel lager zijn dan die waar effecten kunnen optreden volgens wetenschappelijk onderbouwde studies. Er is **geen bewijs dat die gezondheidsklachten door elektromagnetische straling veroorzaakt worden**. De meeste wetenschappers denken dat EHS te maken heeft met stress-syndromen die veroorzaakt worden door langdurige stress en/of traumatische ervaringen.

Wetenschappers denken dat **nocebo en attributie een rol spelen**: bij een nocebo-effect is een gezondheidseffect het gevolg van het idee dat iets gevaarlijk is. Attributie wil zeggen dat mensen gezondheidseffecten die ze al hebben, toeschrijven aan bijvoorbeeld gsm-antennes of draadloze netwerken. Het feit is wel dat deze ziekteverschijnselen dienen ernstig genomen te worden omdat het gaat over reële klachten die de levenskwaliteit en het welzijn verlagen. Een algemeen aanvaarde behandelingsmethode bestaat echter nog niet.

Volgens de experten is een **persoonlijke meting** van elektromagnetische velden in de aanwezigheid van de betrokken personen nodig. Maar dit heeft vaak weinig nut omdat de gemeten niveaus, zelfs zeer laag, vaak als te hoog worden beschouwd. Deze metingen moeten worden aangevuld met educatief werk in het veld, maar ook met langdurige ondersteuning en zorg.

De omgang met mensen met elektrogevoeligheid is ingewikkeld. Daarbij is het van belang dat de meeste elektro-hypersensitieve personen hun klachten toeschrijven aan radiofrequente velden, zoals die optreden bij mobiele telecommunicatie en niet aan ELF-magneetvelden in de buurt van hoogspanningslijnen. Het **aanleveren van informatie over wetenschappelijk onderzoek** alleen kan de betrokkenen vrijwel nooit overtuigen. Het geven van wetenschappelijk onderbouwde informatie blijft natuurlijk wel belangrijk

In een **lopend onderzoek** (ExpoComm) heeft men in een eerste fase een groep elektro-hypersensitieve personen en onderzoekers bijeengebracht om een provocatietest te overwegen die door EHS-mensen als aanvaardbaar zou worden beschouwd. In het tweede luik worden deze personen volgens een strikt protocol[6] onderworpen aan een blootstelling experiment. Ook het meedelen van de resultaten en de reactie van de deelnemers op hun resultaten worden bestudeerd. Deze analyse is echter nog niet afgerond. Naast het ExpoComm project zijn er op dit moment nog andere blootstellingsstudies lopend zoals de studie van Schmid[7] over de menselijke slaap in relatie tot wifi-blootstelling.

Ter aanvulling is er nog de hypothese over de mogelijke **invloed op Melatonine**. Dit is een hormoon dat o.a. een rol speelt in het bioritme en in immunologische reacties. Eind de jaren 90 werden reeds heel wat studies hiernaar uitgevoerd[8], maar zonder sluitend bewijs. We gaan ervan uit dat er geen

[6] Ledent M.et al.: Co-Designed Exposure Protocol in the Study of Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to Electromagnetic Fields. Bioelectromagnetics 2020 Sep;41(6):425-437
[7] Schmid G, et al. Design and Dosimetric Analysis of an Exposure Facility for Investigating Possible Effects of 2.45 GHz Wi-Fi Signals on Human Sleep. Bioelectromagnetics. 41(3):230-240.
[8] Touitou Y, et al. Is melatonin the hormonal missing link between magnetic field effects and human diseases?. Cancer Causes Control. 2006;17(4):547–552

effect is. Personen met hypersensitiviteit rapporteren een lagere slaapkwaliteit en -kwantiteit, maar dit kon niet worden teruggevonden in melatonine-concentraties. Enkele recentere studies[9] brengen evenmin sluitend bewijs.

Het lijkt **onwaarschijnlijk** dat de klinische verschijnselen (depressie, stemmings-en slaapstoornissen, kwaadaardige aandoeningen, enz.) die in sommige studies van mensen die in de buurt van elektrische leidingen of onderstations wonen of werken, in verband kunnen worden gebracht met een verstoring van hun melatoninespiegel.

Op langere termijn

Er zijn nog een aantal zaken die **in de toekomst nog verder onderzocht** moeten blijven worden. Denk daarbij aan onderzoek naar kinderleukemie en ziektes waarbij de relatie met ELF zwak of onzeker is: hersentumoren bij kinderen, ALS, ziekte van Parkinson, ziekte van Alzheimer en MS. Onderzoek naar de mogelijke invloed van ELF op deze pathologieën blijft noodzakelijk aangezien de voorhanden zijnde data geen uitsluitsel kunnen geven. Als er al een verband bestaat, is het bijkomende risico waarschijnlijk zeer beperkt. **Daarom hoeft dit volgens de huidige stand van de wetenschappelijke kennis niet meegenomen te worden in deze gezondheidsbeoordeling**.

Lopend onderzoek dat mogelijk voor de toekomst van belang is, het zogenaamde TransExpo onderzoek waarin wordt gekeken naar kinderen die dichtbij een (inpandige) transformator wonen (http://www.emfs.info/research/studies/transexpo/). Dat onderzoek is 'work in progress' en kan nu nog niet in de gezondheidsbeoordeling worden meegenomen. Dit is **niet van toepassing op hoogspanningsnet** maar op het distributienet.

Sommige experten geven aan dat er geen studies zijn die op heel **lange termijn** kijken (50 – 60 jaar). Het ontbreken van dergelijke gegevens kan natuurlijk worden meegenomen worden in de voorzorg afwegingen, maar in dit specifieke geval lijkt dit **geen afweging die tot fundamenteel andere conclusies zal leiden**.

Hogere blootstelling (piekbelasting) een hoger risico

Op grond van de beschikbare gegevens over kinderleukemie in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen kan niet geconcludeerd worden dat blootstelling aan hogere waarden dan 0,4 microtesla een hoger risico met zich meebrengt. Men heeft **geen dosis-response relatie** kunnen opmaken en **geen relatie met kortdurende piekblootstellingen** vastgesteld. Een kwantitatieve risico-evaluatie is derhalve niet mogelijk. Men kan enkel uitspraken doen over langdurig gemiddeld boven 0,4µT.

Aangezien de 0,4 µT magneetveldcontour en de daarmee geassocieerde mogelijke stijging van de prevalentie van kinderleukemie zich als effect na langdurige blootstelling manifesteert, is de berekening van de piekbelasting niet zo heel zinvol voor de bepaling van de mogelijke

Dyche J, et al. Effects of power frequency electromagnetic fields on melatonin and sleep in the rat. Emerg Health Threats J. 2012;5:10.

[9] Andrianome S, et al. Disturbed sleep in individuals with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF): Melatonin assessment as a biological marker. Bioelectromagnetics. 2016;37(3):175–182

gezondheidseffecten. De focus op de **0,4 µT magneetveldcontour bij jaargemiddelde belasting** is dus een **gerechtvaardigde benadering**.

4.3 Omgevingsfactoren

Tijdens de publieke consultatieronde werden diverse vragen gesteld over verschillende gevolgen van wonen in de buurt hoogspanning op de **menselijke leefomgeving**. Hieronder een overzicht van de belangrijkste bevindingen van de experten.

Fijnstof

Door de nabijheid van een hoogspanningslijn kan fijnstof geïoniseerd worden. Op basis van bestaande onderzoeken, is het **niet aannemelijk dat geïoniseerd fijnstof schadelijke gezondheidseffecten zou teweegbrengen**, hoger wordt opgenomen in de longen of vaker voorkomt bij hoogspanningslijnen.

Het RIVM heeft in 2007 en in 2012 **literatuuronderzoek** naar de mogelijke gezondheidseffecten van opgeladen fijnstof in de buurt van hoogspanningslijnen uitgevoerd. Die rapporten bevatten een overzicht van het wetenschappelijk onderzoek op dat gebied. De conclusie van beide RIVM-onderzoeken is dat het niet aannemelijk is dat bovengrondse hoogspanningslijnen de schadelijke gezondheidseffecten van fijnstof beïnvloeden.

Recent is een **onderzoek uit het Verenigd Koninkrijk** gepubliceerd[10]. Het onderzoek biedt volgens de onderzoekers geen ondersteuning voor de hypothese dat geladen deeltjes in de buurt van hoogspanningslijnen het risico op kanker verhogen.

Effecten op (medische) toestellen

Apparaten die toegelaten zijn tot de Europese markt **mogen geen storing ondervinden** van het magneetveld in de buurt van hoogspanningslijnen. Producenten van actieve medische hulpmiddelen moeten zich houden aan **wettelijk verplichtingen** en zorgen dat producten op redelijkerwijze bestand zijn tegen interferentie. Bovendien moeten medische hulpmiddelen stelselmatig worden getest voor veldsterktes die in de openbare omgeving kunnen optreden. Het is dus erg onwaarschijnlijk dat deze toestellen kunnen verstoord worden. In realiteit moet alle apparatuur die **na 1 januari 1995 in gebruik** is genomen voldoen aan de laatste richtlijnen van de Europese Commissie.

In de praktijk bereiken producenten conformiteit met de essentiële eisen van de richtlijn betreffende medische hulpmiddelen door hun producten te vervaardigen overeenkomstig een geharmoniseerde norm. In verband met immuniteit voor interferentie met medische elektronische apparatuur en hulpmiddelen is de belangrijkste norm EN 60601-1-2 (2014). Voor actieve geïmplanteerde medische hulpmiddelen zijn onder meer geharmoniseerde normen EN 45502-1 en EN 45502-2-X relevant.

[10] ('Electric field and air ion exposures near high voltage overhead power lines and adult cancers: a case control study across England and Wales' M.B. Toledano et al International Journal of Epidemiology, 2020, i57–i66 doi: 10.1093/ije/dyz275 Supplement Article

Geluidshinder

Geluidshinder in de buurt van hoogspanningslijnen **doet zich voornamelijk voor bij vochtig, regenachtig en mistig weer.** Dit fenomeen is te wijten aan deelontladingen (plaatselijke doorslag van de lucht) en lekstromen. Er zijn geen aanduidingen dat hoogspanningslijnen geluid produceren op een niveau dat gezondheidsschade zou kunnen veroorzaken. Er is geen wetenschappelijk onderzoek gekend over de relatie van geluidshinder door hoogspanningslijnen en gezondheid, wel wordt dit in verband gebracht met windturbines.

4.4 Beleid

Overeenkomstig de richtlijnen van de Europese Commissie (2000) en de aanbeveling van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) past de Vlaamse overheid het **voorzorgsprincipe** toe bij publieke blootstelling aan elektromagnetische velden van hoogspanning:

- Het overspannen van woningen, scholen en kinderdagverblijven bij hoogspanningslijnen wordt tot een minimum beperkt;
- Er worden geen nieuwe scholen en kinderdagverblijven in de magneetveldcontour geplaatst;

Het uitgangspunt daarbij is **zoveel mogelijk nieuwe situaties vermijden** waar een langdurige blootstelling aan meer dan 0,4 µT wordt gecreëerd.

Voorzorg

Het strekt tot de aanbeveling om **bij wetenschappelijke onzekerheid het voorzorgsprincipe** toe te passen: de epidemiologische grenswaarde van 0,4 µT m.b.t. leukemie bij kinderen is vrij consistent blijkens verschillende internationale studies. Anderzijds is de wetenschap er tot op heden niet in geslaagd een causaal verband met ELF aan te tonen. Dus voorzorg is hier aangewezen. Bijgevolg is het zoveel mogelijk vermijden van nieuwe overspanningen van woningen, scholen, kinderdagverblijven, etc. binnen de 0,4 µT contour een redelijke en proportionele tegemoetkoming.

Het volledig vermijden van overspanningen en woningen binnen 0,4 µT-contouren is onmogelijk door de verspreide dense bebouwing in Vlaanderen. De experten **bevelen aan om verder te specificeren** in welke gevallen het overspannen van woningen, scholen, etc. binnen de 0,4 µT contour niet kan vermeden worden. Het kwantificeren plaatst het project Ventilus op die manier meer in perspectief voor de omwonenden.

Ter vergelijking, in andere landen wordt het voorzorgsprincipe ook gehanteerd. Ook in **Nederland** worden zo weinig mogelijk nieuwe woningen, scholen en kinderdagverblijven binnen de magneetveldcontour geplaatst. Netbeheerder TenneT hanteert bij de aanleg van nieuwe bovengrondse hoogspanningslijnen een 'uitkoopbeleid', waarin de eigenaar van een woning die binnen de magneetveldcontour terecht komt een aanbod krijgt om zijn woning voor een marktconform bedrag aan de netbeheerder te verkopen. Het **Duitse beleid** kent wettelijk vastgelegde maatregelen om de magneetveldsterkte te minimaliseren.

Bij de toepassing van het voorzorgsprincipe moet rekening houden met allerlei factoren: wetenschappelijke stand van zaken van het gezondheidsonderzoek, omgevingsaspecten, technische

aspecten, kostprijs, enz. De **proportionaliteit van de maatregelen** moet vervolgens bepaald worden bij de keuze van de trajecten.

Het is onmogelijk te bewijzen dat iets volledig onschadelijk is. De overheid moet steeds, en op basis van alle beschikbare gegevens, de **voor- en de nadelen afwegen**. De wetenschappelijke kennis over de mogelijke gezondheidseffecten geven aanleiding tot voorzorg, maar zijn op basis van het proportioneel toepassen van het voorzorgsprincipe **geen reden voor het niet laten doorgaan** van het project Ventilus met een bovengrondse lijn in wisselstroom.

De experten raden echter wel een **monitoring van de blootstelling** van omwonenden aan in de vorm van een gerichte meetcampagne en raden aan om de opvolging van onderzoek naar de mogelijke gezondheidseffecten te blijven doen.

Advies Nederlandse Gezondheidsraad

In juni 2022 heeft de Nederlands Gezondheidsraad een advies opgemaakt over de magnetische velden van hoogspanningslijnen. Uit wetenschappelijk onderzoek komen, volgens de Gezondheidsraad, extra argumenten voor voorzorgbeleid rond hoogspanningslijnen naar voren. Volgens de Gezondheidsraad zijn er aanwijzingen dat leukemie zich vaker voordoet bij volwassenen die in de buurt van hoogspanningslijnen wonen. Ook in arbeidsomstandigheden, met een mogelijk hogere blootstelling aan magnetische velden dan in de woonomgeving, zijn er, volgens de Gezondheidsraad aanwijzingen gevonden voor een verhoogd risico op leukemie en op enkele andere onderzochte vormen van kanker en neurologische aandoeningen. De Nederlandse gezondheidsraad raadt daarom aan om voorzorg toe te passen met als doel om blootstelling zoveel als redelijkerwijs mogelijk te vermijden. De oproep tot voorzorg komt overeen met de eerdere conclusies van de Belgische Hoge Gezondheidsraad.

Drempel

De Vlaamse overheid gebruikt de **0.4 µT als drempelwaarde (aanbeveling)**. Welke op basis van epidemiologische studies het meest voor de hand ligt. Er is geen duidelijke dosis-effect relatie. Bij lagere waarden is de onzekerheid groter en bij huidig onderzoek is geen significant effect meer aanwezig bij 0,3 µT. Er zijn geen meta-analyses die een significant risico vinden onder de 0,4 µT.

Monitoring

In samenwerking met IMEC werkte het departement Omgeving aan een **nieuw rekenmodel**. Dit model berekent hoe groot de magnetische velden zijn in de buurt van hoogspanningslijnen. Het rekenmodel kan gebruikt worden om **regelmatig de blootstelling te berekenen**, rekening houdend met de reële belasting. Die resultaten kunnen dan gecommuniceerd worden naar omwonenden en de basis vormen voor toekomstig wetenschappelijk onderzoek.

Voor mensen die zich zorgen maken over gezondheidseffecten is een rekenmodel **niet de beste manier om te overtuigen**. Zij zien dit vaak als een (onbetrouwbare) zwarte doos die ze niet begrijpen. Zij vertrouwen meer op metingen, liefst uitgevoerd door een onafhankelijk organisme. Ook al zijn deze metingen minder betrouwbaar dan het rekenmodel. Als er iets fysieks gebeurt (een meting uitvoeren) wil dat zeggen dat ze aandacht krijgen, waardoor hun vertrouwen groeit.

Dus naast het rekenmodel zou ook een **meetstrategie opgezet moeten worden**. Als een installatie er staat en in werking is, zal ze veldsterkten genereren die stabiel en voorspelbaar zijn. Het is zinvol om bij de oplevering via metingen aan een woning (in een 50 of 100 meter corridor) te controleren of de voorspellingen kloppen. Nadien kunnen metingen uitgevoerd worden op vraag, wat als meer betrouwbaar wordt ingeschat dan routine metingen die door iemand anders zijn gepland. Dus naast het rekenmodel zou er ook een meetstrategie moeten opgezet worden.

Visie landschapsintegratie hoogspanningsverbinding

ONTWERPMETHODIEK
04 maart 2019

CLUSTER
landschap | stedenbouw

elia

ONTWERPER

CLUSTER landschap en stedenbouw
Vrijheidstraat 32, bus 15
2000 Antwerpen
Tel. 03 663 00 42
www.clusterlandscape.be
info@clusterlandscape.be

Ontwerpteam:
David Verhoestraete (zaakvoerder)
Kristian Spasov (projectleider)
Grace de Smet
Anna Battistutta
Hessel Rasch

OPDRACHTGEVER

ELIA
Keizerslaan 20
1000 Brussel
Tel. 03 546 70 11
www.elia.be

Projectleider:
Steven van Muylder

1. INLEIDING **5**

2. METHODOLOGIE **6**
2.1. Naar een meerlagig landschappelijke benadering 6
2.2. Drie schaalniveaus 8
2.3. Landschap - Regionale benadering 10
2.4. Landschap - Lokale benadering 12
2.5. Landschap - Visuele benadering 14
2.5.1. Inleiding 14
2.5.2. Visuele aspecten op afstand 16
2.5.3. Visuele aspecten bij bundeling 17

3. TRACÉNIVEAU **18**
3.1. Methodiek landschappelijke analyse - Regionale benadering 18
3.1.1. Landschapskaart 18
3.1.2. Landschapseenheden 19
3.1.3. Hoofdstructuren 20
3.1.4. Landgebruik 21
3.2. Landschappelijke karakteristieken - Regionale benadering 22
3.2.1. Hoofdstructuren 22
3.2.2. Landgebruik 23
3.2.3. Polders 24
3.2.4. Zandstreek 25
3.3. Ontwerpprincipes op tracéniveau 26
3.3.1. Open landschap 26
3.3.2. Bundeling met grote infrastructuren 27
3.3.3. Bundeling met bestaande tracés 28
3.3.4. Herbenutting van bestaande tracés 30
3.3.5. Valleien 31
3.3.6. Bossen 32

4. LIJNNIVEAU **34**
4.1. Methodiek landschappelijke analyse - Lokale benadering 34
4.1.1. Inleiding 34
4.1.2. Historiek 36
4.1.3. Geomorfologie 38
4.1.4. Netwerken 40
4.1.5. Landgebruik 42
4.2. Landschappelijke karakteristieken - Lokale benadering 44
4.3. Ontwerpprincipes op lijnniveau 46
4.3.1. Verloop van de lijn 46
4.3.2. Parallel aan grote infrastructuren 48
4.3.3. Dwars op grote infrastructuren 49
4.4. Verhullen op lijnniveau 50
4.4.1. Visuele aspecten op een afstand tussen 350 en 700 meter 50
4.4.2. Visuele aspecten in een gefragmenteerd landschap 51
4.4.3. Visuele aspecten vanuit stads- en dorpsgezichten 52

5. OBJECTNIVEAU **54**
5.1. Ontwerpprincipes op objectniveau 54
5.1.1. Type masten 54
5.1.2. Masthoogtes en veldlengtes 56
5.1.3. Corridors 56
5.1.4. Hoogspanningsstations 57
5.1.5. Mastfuncties 58
5.2. Verhullen op objectniveau 60
5.2.1. Visuele aspecten op een afstand tot 350 meter 60
5.2.2. Visuele aspecten bij hoogspanningsstations 61

6. BIBLIOGRAFIE **63**

1. Inleiding

De landschappelijke integratie van nieuwe hoogspanningsverbindingen is een complexe ruimtelijke ontwerpopgave omdat verschillende parameters, schaalniveaus en invalshoeken op een geïntegreerde wijze dienen te worden benaderd. In het ruimtelijk ontwerp van nieuwe hoogspanningsverbindingen wordt doorgaans sterk ingezet op het beperken van de schade aan het bestaande landschap. Technische en ecologische criteria zijn daarbij sturende ruimtelijke parameters. Er wordt doorgaans weinig aandacht besteed aan het potentiële nieuwe landschap dat met de aanleg van een nieuwe hoogspanningsverbindingen kan ontstaan. In onderstaande studie wordt een ontwerpmethodiek aangereikt om de aanleg van nieuwe hoogspanningsverbindingen te koppelen aan het versterken van de landschappelijke karakteristieken op regionaal en lokaal niveau.

2. Methodologie

2.1. Naar een meerlagig landschappelijke benadering

Het landschap is in een continu ontwikkelingsproces. Grootschalige ingrepen in het landschap zijn niet nieuw. In het verleden leidde de aanleg van kanalen, dijken, spoorlijnen en snelwegen tot het ontstaan van geheel nieuwe landschappen. Het huidige landschap vormt een weerspiegeling van de geschiedenis van mens en natuur, de ontwikkeling van de sociale en economische verhoudingen, de stand van techniek, en de ideeën van de mens over zichzelf en zijn relatie met de natuur.

Een landschap schept een historisch perspectief waarin wij ons kunnen oriënteren in tijd. In dit opzicht speelt de aanwezigheid van herkenbare 21ste eeuwse objecten en patronen een essentiele rol. Oude landschappelijke patronen en nieuwe hedendaagse infrastructuren in het landschap ontlenen hun betekenis aan elkaar en aan het feit dat zij in eigen aard en vorm naast elkaar en tegelijkertijd aanwezig zijn. Vanuit dit perspectief kunnen grootschalige technische infrastructuren ook gezien worden als een 21ste eeuwse en potentieel waardevolle bijdrage aan de ontwikkeling van het landschap.

Het centrale ontwerpvraagstuk is hoe het eigen vormkarakter van nieuwe hoogspanningsverbindingen ten volle ontwikkeld kan worden zonder daarbij de huidige landschapspatronen teniet te doen.

In onderstaande ontwerpmethodiek onderscheiden we drie schaalniveaus om het ontwerpvraagstuk van de landschappelijke integratie van hoogspanningsverbindingen te doorgronden: tracéniveau, lijnniveau en objectniveau. Vanuit elk schaalniveau wordt het landschap gekenmerkt door een specifieke ruimtelijke logica. Hierin worden drie landschappelijke benaderingen onderscheiden: regionale benadering, lokale benadering en het visuele benadering.

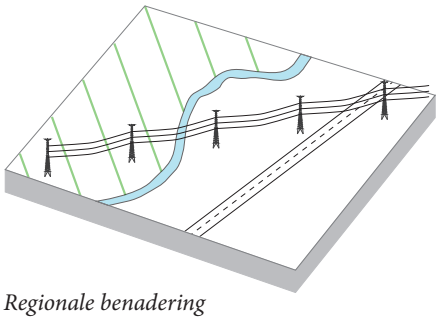
Elk schaalniveau (*tracéniveau, lijnniveau en objectniveau*) en landschappelijke benadering (*regionale, lokale en visuele benadering*) leidt tot een reeks van ruimtelijke ontwerpprincipes die een specifieke oplossing bieden voor de landschappelijke integratie van hoogspanningsverbindingen.

Het samenbrengen van de verschillende schaalniveaus en landschappelijke benaderingen resulteert tot een groep van generieke ruimtelijke ontwerpprincipes die de input vormen voor het ontwerpend onderzoek op planniveau.

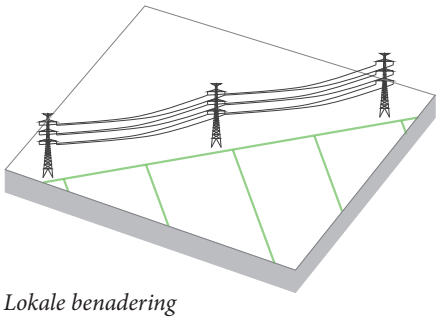
In onderstaande visienota, dat een bijlage vormt bij de start- en procesnota, wordt de ontwerpmethodiek met betrekking tot de landschappelijke integratie van hoogspanningsverbindingen in detail toegelicht. Daarbij worden de interne ontwerplogica's en bijhorende landschappelijke ontwerpprincipes voor de verschillende landschappen inzichtelijk gemaakt. Het landschapsontwerp voor de integratie van het hoogspanningsverbinding wordt in de fase "uitwerking detailtracé RUP" verder uitgewerkt. Het landschapsontwerp komt tot stand door een ontwerpend onderzoek waarbij de ruimtelijke ontwerpprincipes die in deze nota behandeld worden concreet worden toegepast in een geïntegreerd landschapsplan.

De drie schaalniveaus:
- Het tracéniveau,
- Het lijnniveau
- Het objectniveau

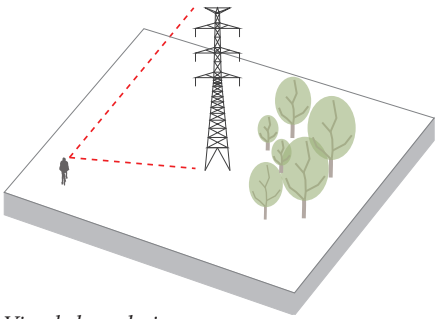
De drie landschappelijke benaderingen:
- Regionale benadering
- Lokale benadering
- Visuele benadering



Regionale benadering



Lokale benadering

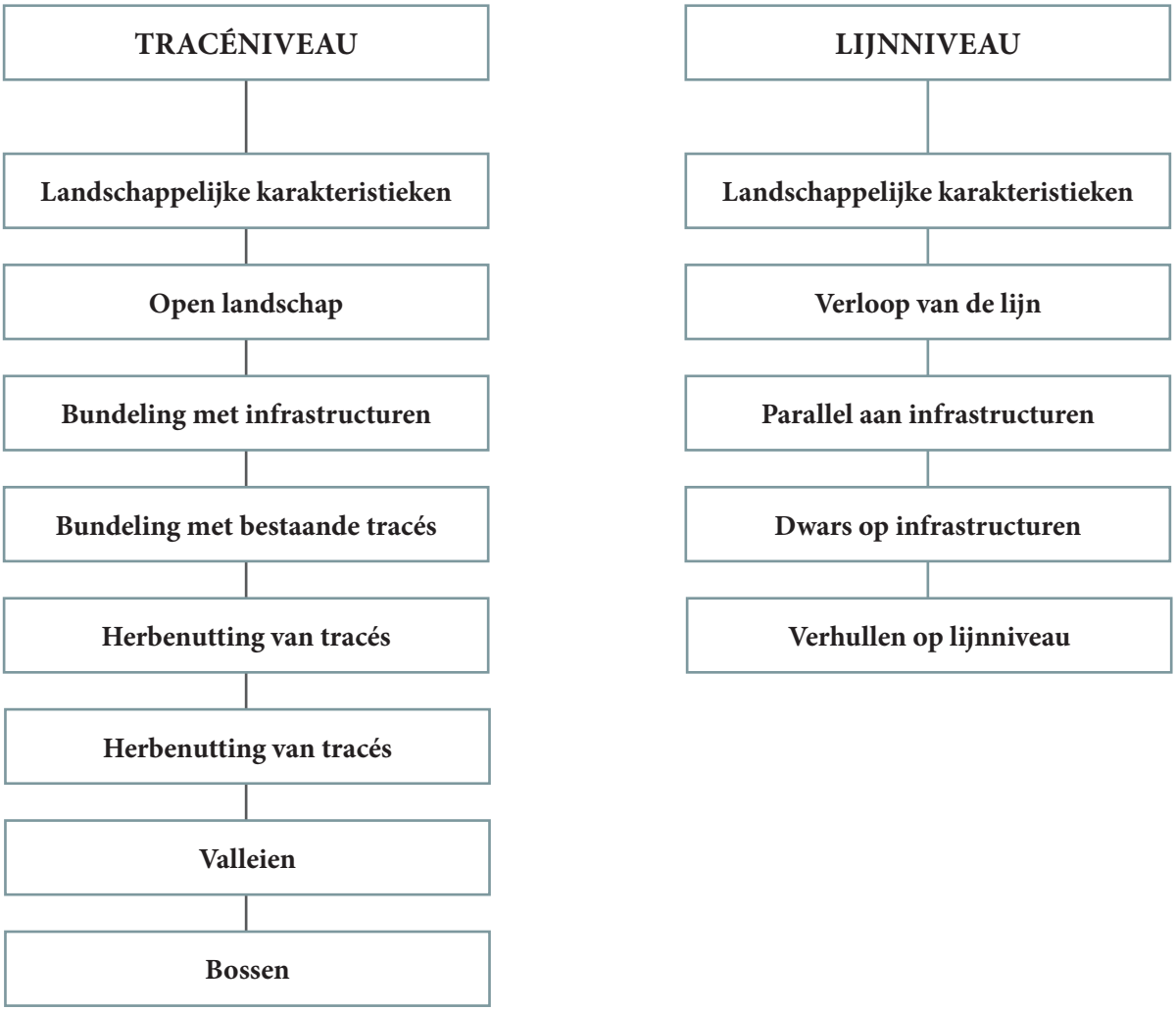


Visuele benadering

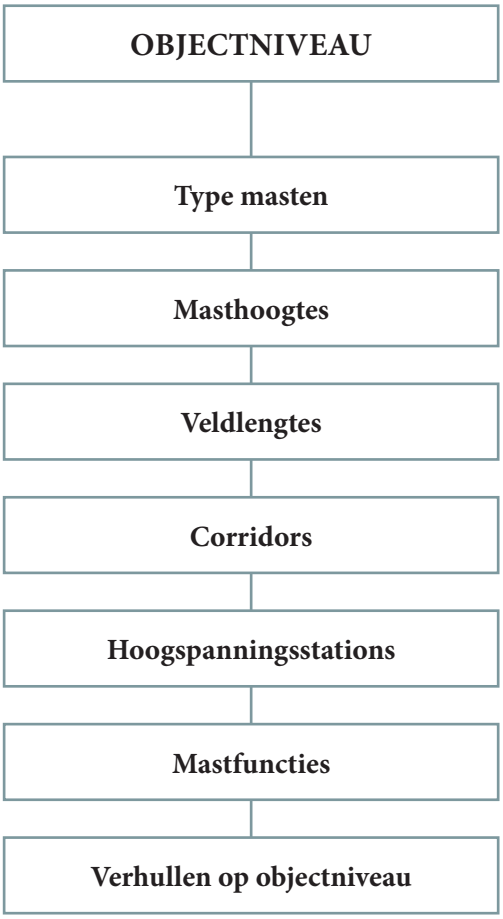
2.2. Drie schaalniveaus

Het **tracéniveau** heeft betrekking op de inplanting van een hoogspanningsverbinding in het landschap. Aandachtspunten daarbij zijn het hanteren van zo lang mogelijke rechte lijnen, zowel in het horizontale als in het verticale vlak. Een rechte lijn, de kortste verbinding tussen twee punten is de meest zuivere vormuitdrukking van de functie van een hoogspanningslijn en van de zelfstandigheid ervan ten opzichte van het landschap. Duidelijk waarneembare richtingsveranderingen moeten worden beperkt tot situaties waarbij de hoogspanningslijn obstakels en landschapspatronen van vergelijkbare schaalgrootte overbruggen. Op tracéniveau is bundeling met andere grootschalige infrastructuren zoals snelwegen, spoorwegen en waterwegen aangewezen.

Het **lijnniveau** heeft betrekking op de lokale inpassing van een hoogspanningsverbinding. De richting van het lijnverloop, de veldlengte tussen de masten en de masthoogte zijn daarbij bepalende elementen. Veelvuldige richtingsveranderingen als gevolg van bebouwing en beplanting maken het lijnverloop onoverzichtelijk. De continuïteit van de lijn wordt dan moeilijk herkenbaar. De lineaire elementen dienen een zekere zelfstandigheid te behouden. Een belangrijk aandachtspunt bij het inpassen is de visuele continuïteit van het lijnverloop bij richtingsveranderingen. Het hanteren van verschillende opeenvolgende knikken in de lijn heeft als nadeel dat er zwaardere en grotere hoekmasten moeten worden voorzien die de hoekverdraaiingen kunnen opvangen. In functie van landschappelijke inpassing is het belangrijk om de hoogspanningslijn zo recht mogelijk te laten verlopen met zo min mogelijk knikken en is het interessanter om met flauwe bochten te werken in plaats van met knikken omdat hierbij geen afwijkende hoekmasten noodzakelijk zijn.

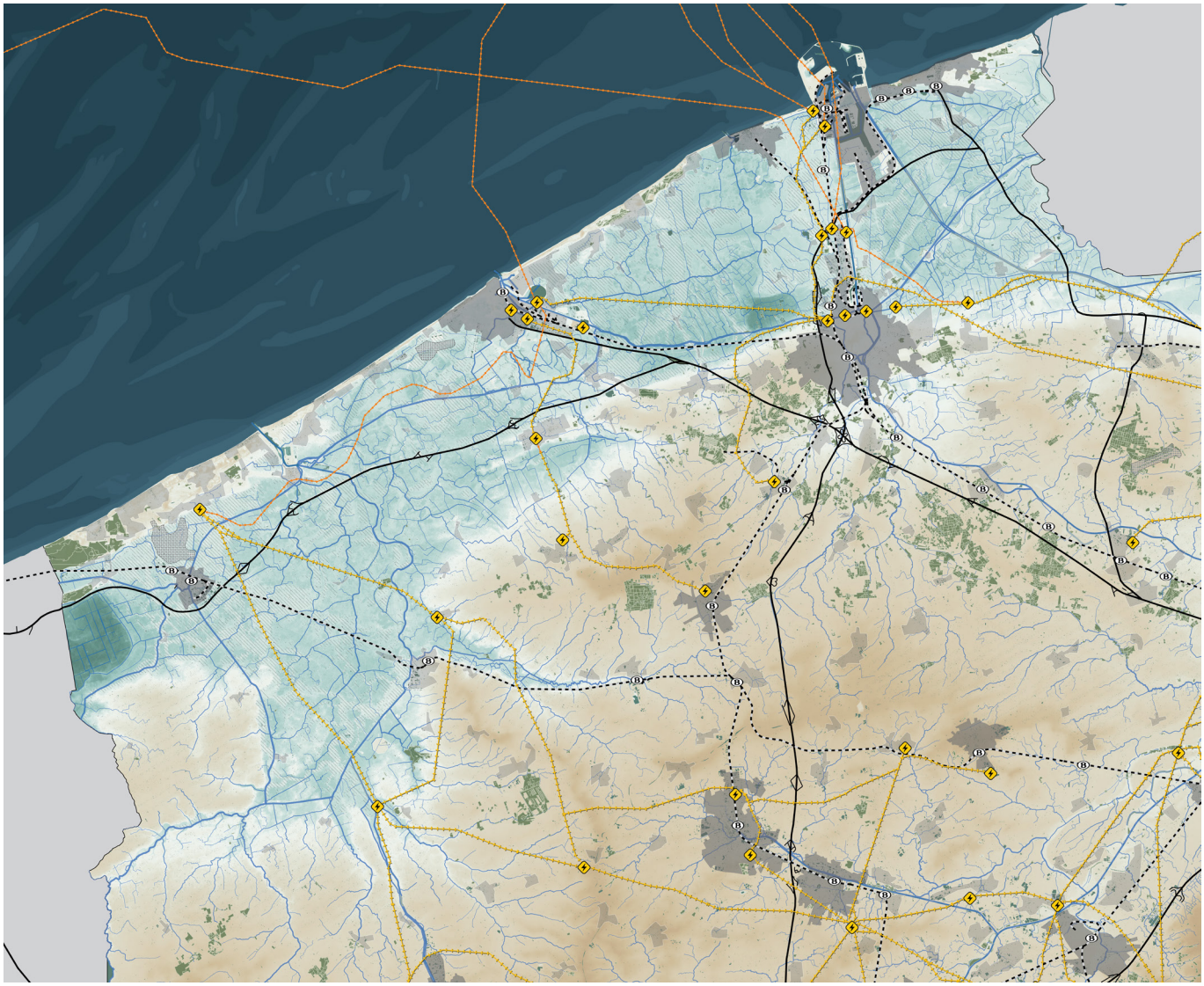


Het **objectniveau** heeft betrekking op de architecturale uitwerking van de componenten van de hoogspanningsverbinding zoals masttype, masthoogte, veldlengte, conversiestations en andere. Daarbij is de autonomie van het object een belangrijk gegeven. Met autonomie wordt bedoeld dat het object zo ideaal mogelijk ontworpen wordt volgens eigen wetmatigheden en technische mogelijkheden zonder zich te onderwerpen aan invloeden van buitenaf. Deze autonomie leidt doorgaans tot objecten met sterke vormkenmerken zodat er een evenwicht ontstaat met het omliggende landschap.

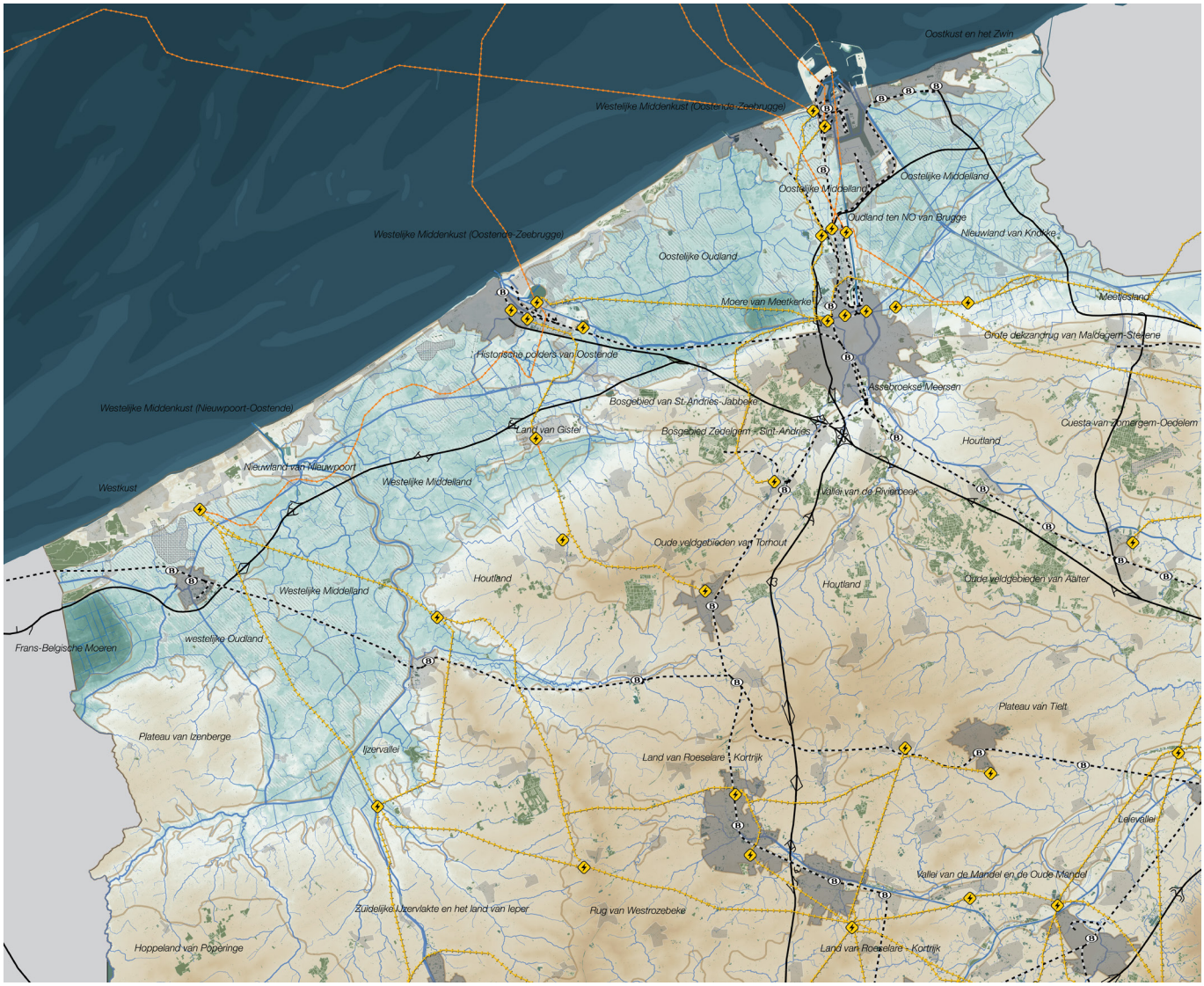


2.3. Landschap - Regionale benadering

Vanuit een landschappelijke benadering op regionale schaal zetten we in op de integratie van hoogspanningslijnen in het landschap. Een hoogspanningsverbinding, zeker een 380kV-lijn, heeft een nationale en internationale betekenis, waardoor deze geen directe functionele relatie heeft met de genius loci van het landschap. Het is van belang de hoogspanningslijn als een autonoom infrastructuur vorm te geven die vanuit haar eigen wetmatigheden vertrekt. Rechte lijnen met gelijkvormige masten verdwijnen in de visuele perceptie eerder naar de achtergrond voor de waarnemer.



Landschapskaart



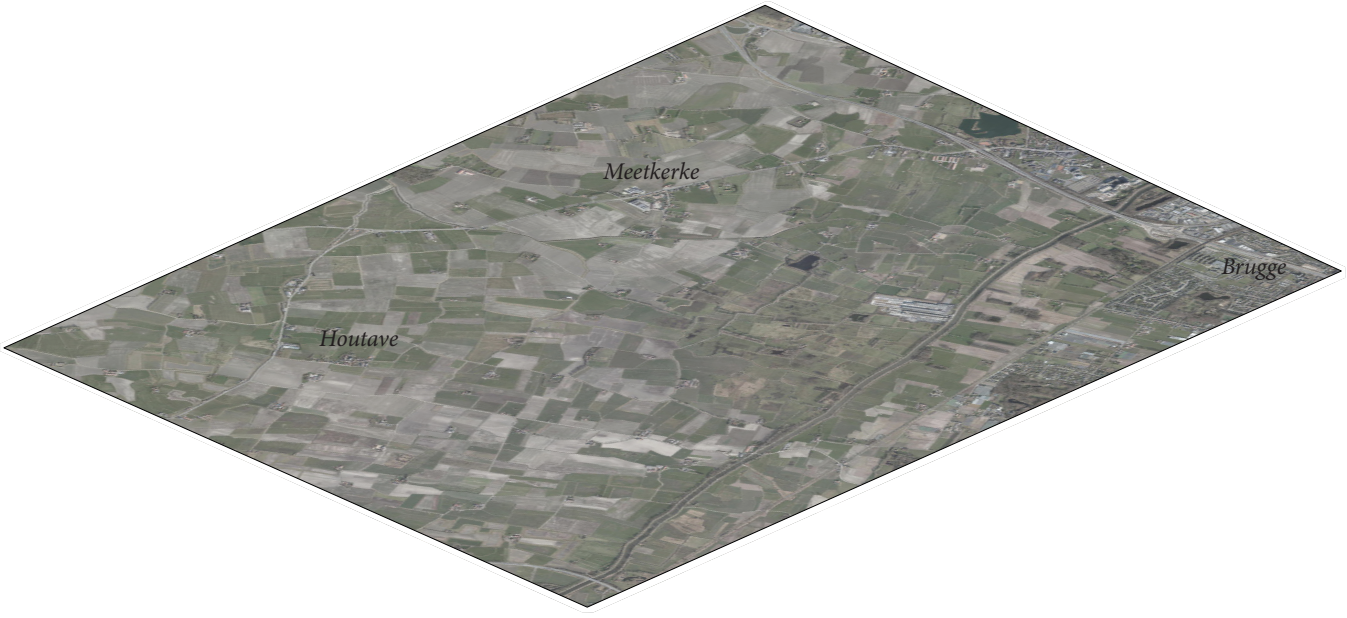
Landschapseenheden

2.4. Landschap - Lokale benadering

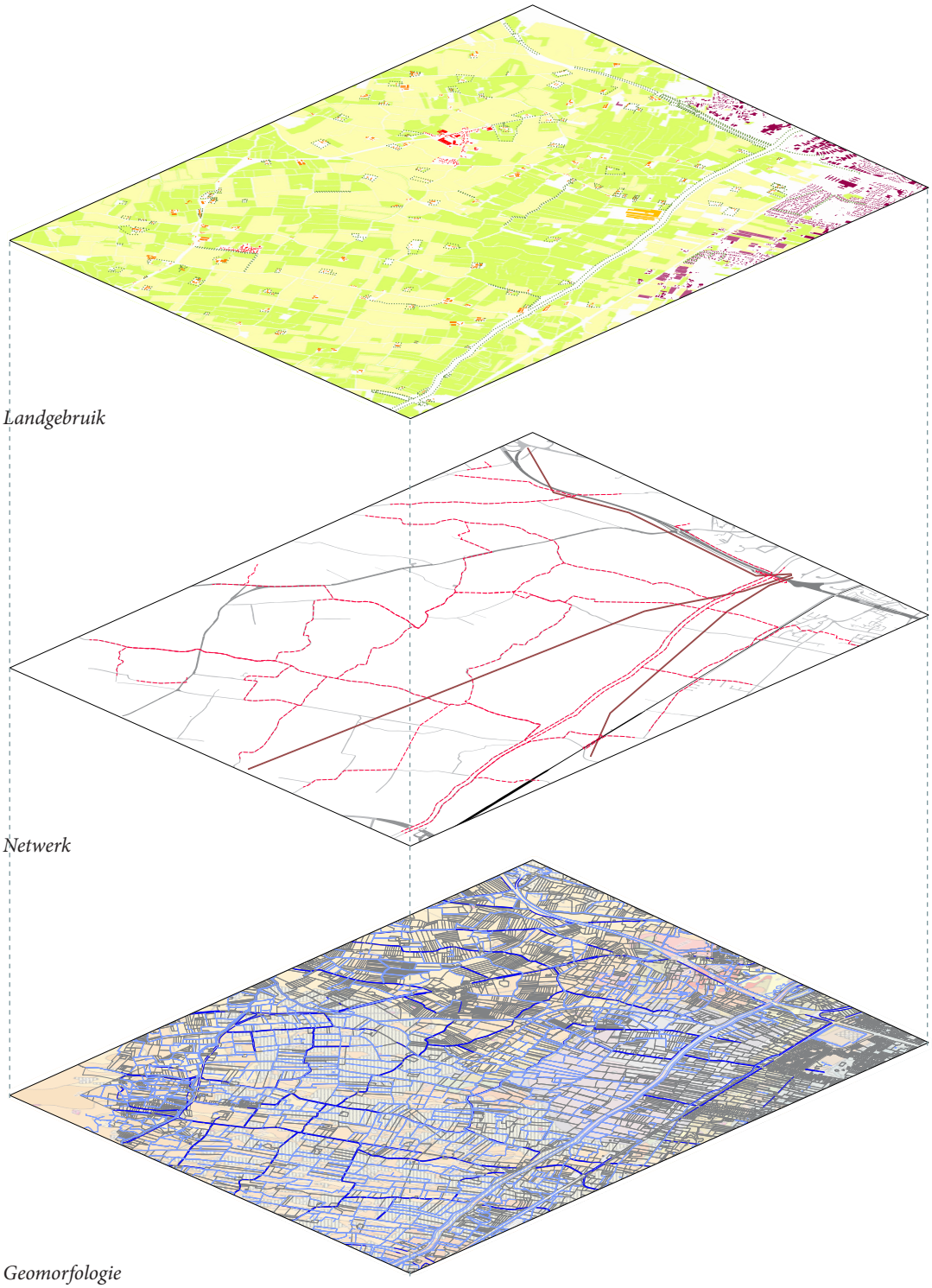
Vanuit een landschappelijke benadering op lokale schaal zetten we in op het versterken van de identiteit van het bestaande landschap als tegengewicht voor de autonomie van de hoogspanningslijn. Door haar specifieke schaalgrootte is het quasi onmogelijk om een hoogspanningsverbinding in te passen in het landschap. Het enige dat kan gebeuren is de leesbaarheid en identiteit van het bestaande landschap te versterken. Landschappen met een leesbare structuur worden hoger gewaardeerd.

De aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen biedt potenties om te investeren in de kwaliteit van het bestaande landschap. Het versterken van de leesbaarheid van het landschap door investeringen in de aanleg van gebiedsspecifieke landschapselementen laat toe om visuele "verrommeling" tegen te gaan en de identiteit van het desbetreffende landschap te versterken. Dit kan betrekking hebben op het aanleggen van bomendreven, erfbeplantingen, rietkragen, verbrede watergangen, dijkaanplantingen, ...

De ruimtelijke karakteristieken van de landschappen waar het hoogspanningstracé doorheen snijdt onderscheiden zich door unieke patronen en structuren. Zo vormen de oudlandpolders ten westen van Brugge een geheel ander landschap dan het gefragmenteerde serrelandschap ter hoogte van Roeselare-Tielt. In het landschapsontwerp dat in de fase "uitwerking detailtracé RUP" zal worden opgemaakt zullen de ruimtelijke karakteristieken van elk landschap nader in detail worden geanalyseerd.



Locatie case study



Landgebruik

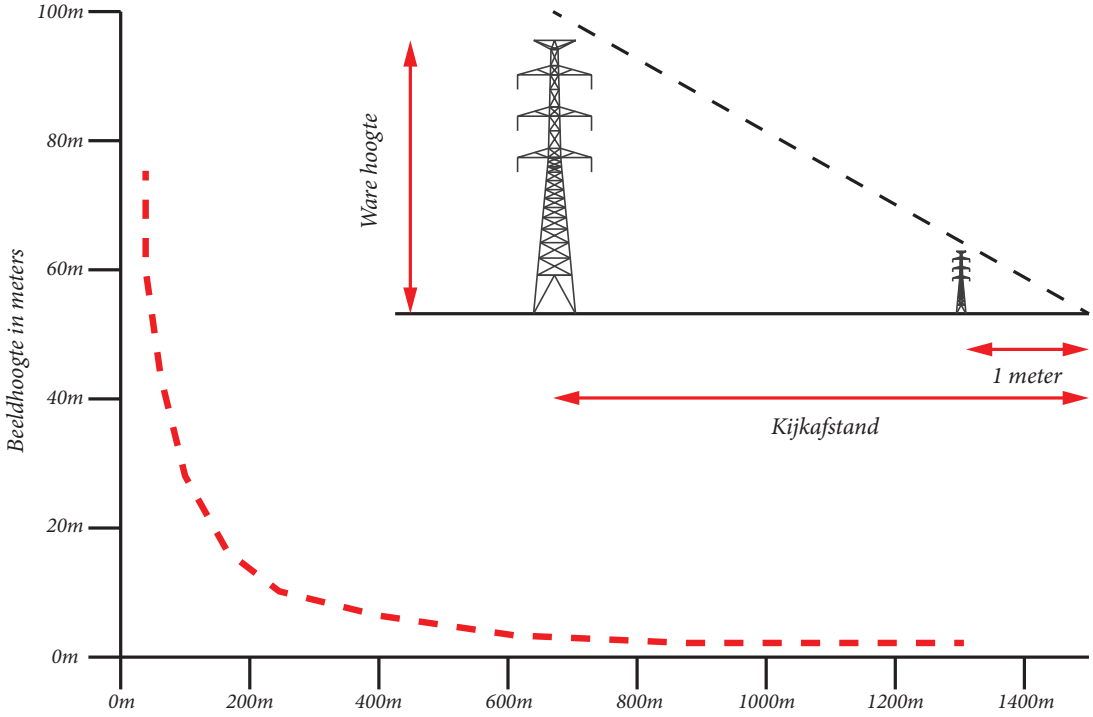
Netwerk

Geomorfologie

2.5. Landschap - Visuele benadering

2.5.1. Inleiding

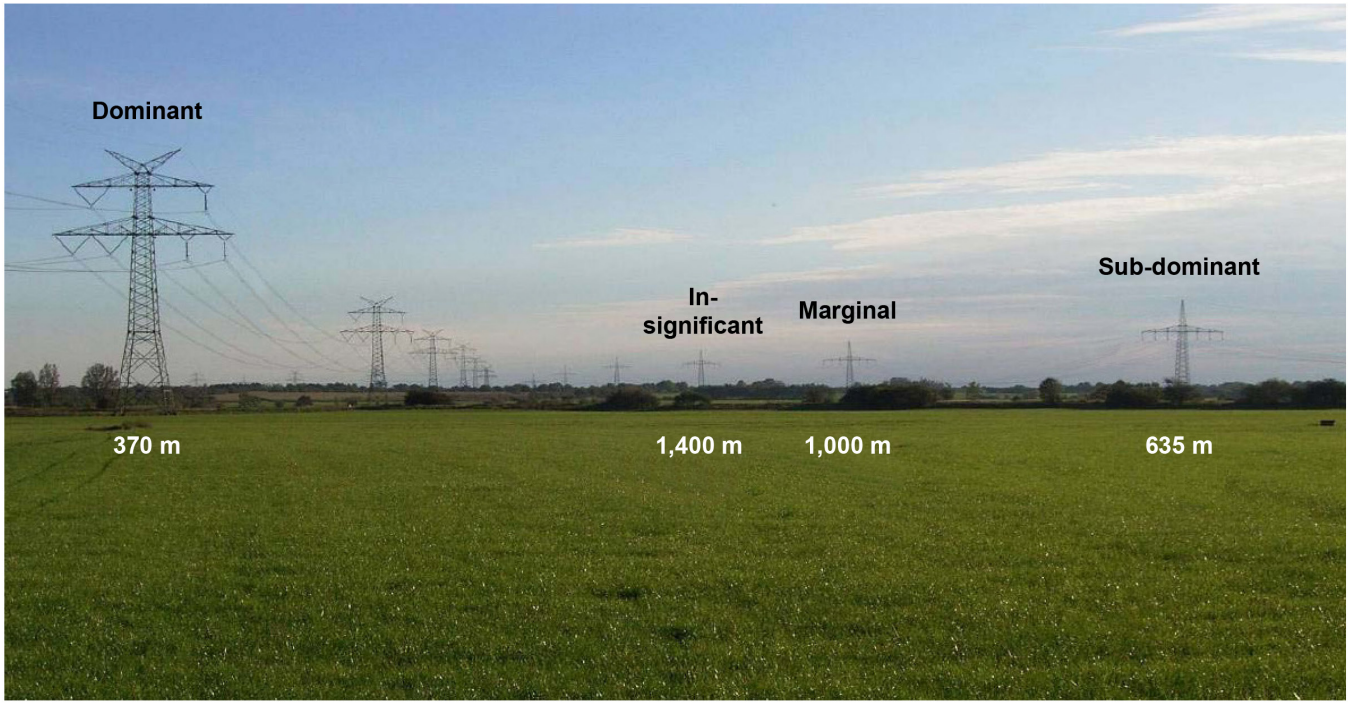
De kijkafstand is de afstand van de waarnemer tot een waargenomen landschapselement dat centraal staat in het gezichtsveld bij een gegeven kijkrichting. Alle waargenomen elementen kunnen gegroepeerd worden volgens kijkafstand. Afhankelijk van de afstand tussen de waarnemer en het waargenomen object kan de kijkafstand worden ingedeeld in vier categorieën: dominant (tot 350 meter), subdominant (tussen 350 en 700 meter), marginaal (tussen 700 en 1400 meter) en insignificant (vanaf 1400 meter). Het begrip kijkafstand heeft veel gelijkenis met het begrip schaal van een kaart, in de zin dat het bepalend is of we een overzicht zien dan wel het detail. Het grote verschil met een kaart of verticale luchtfoto is dat de schaal (de kijkafstand) voor alle landschapselementen niet gelijk is. Kenmerkend voor een horizontale kijkrichting is de tangentiële afname van de beeldhoogte van de objecten met een groter wordende kijkafstand.



(C. Piessens, 1983)

De visuele aspecten hebben betrekking op de manier waarop omwonende en recreanten de hoogspanningsverbinding visueel ervaren. Daarbij wordt gebiedsgericht geanalyseerd wat het effect voor de waarnemer op de beleving van het landschap zal zijn door de inplanting van een hoogspanningslijn. Het verstoppen van een hoogspanningslijn door beplanting is niet mogelijk vermits de masten aanzienlijk hoger zijn dan de meeste voorkomende bomen in België. Het aanbrengen van beplanting heeft wel zin in een ruimere zone rondom het tracé zodoende het perspectief en de zichtlijnen vanuit specifieke waarnemingspunten te beïnvloeden. Aanpassingen aan de landschappelijke opbouw van de ruimere zone rondom het tracé en de toepassing van beplanting tussen de hoogspanningslijn en de waarnemer kan de oriëntatie van het landschap en het zicht op het tracé in positieve zin beïnvloeden.

Door het aanbrengen van beplanting langsheen het tracé kan de visuele beleving van de waarnemer vanop wandel- en fietsroutes gericht gestuurd worden. Dit vraagt aandacht in het ontwerp van de beleving van het landschap. Vanuit de visuele benadering worden verschillende landschappelijke bouwstenen ontwikkeld om de visuele beleving van de omwonenden en/of recreanten te sturen. Deze bouwstenen kunnen onder meer betrekking hebben op het gericht aanplanten van bosgroepen ter hoogte van bepaalde storende zichtlijnen of het aanbrengen van opgaande beplanting langsheen recreatieve routes.



Visuele impact van een hoogspanningsverbinding
(Electricity transmission line planning: Success factors for transmission system operators to reduce public opposition, S. Perras, 2014)

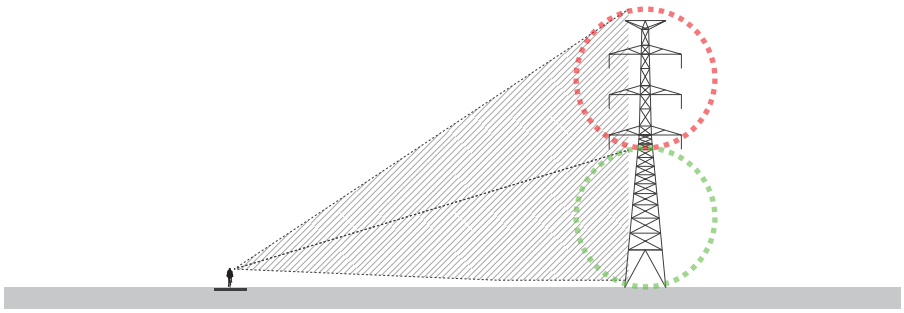
2.5.2. Visuele aspecten op afstand

Zoals eerder vermeld kan de visuele benadering op afstand in vier categorieën worden geclassificeerd: dominant (tot 350 meter), subdominant (tussen 350 en 700 meter), marginaal (tussen 700 en 1400 meter) en insignificant (vanaf 1400 meter).

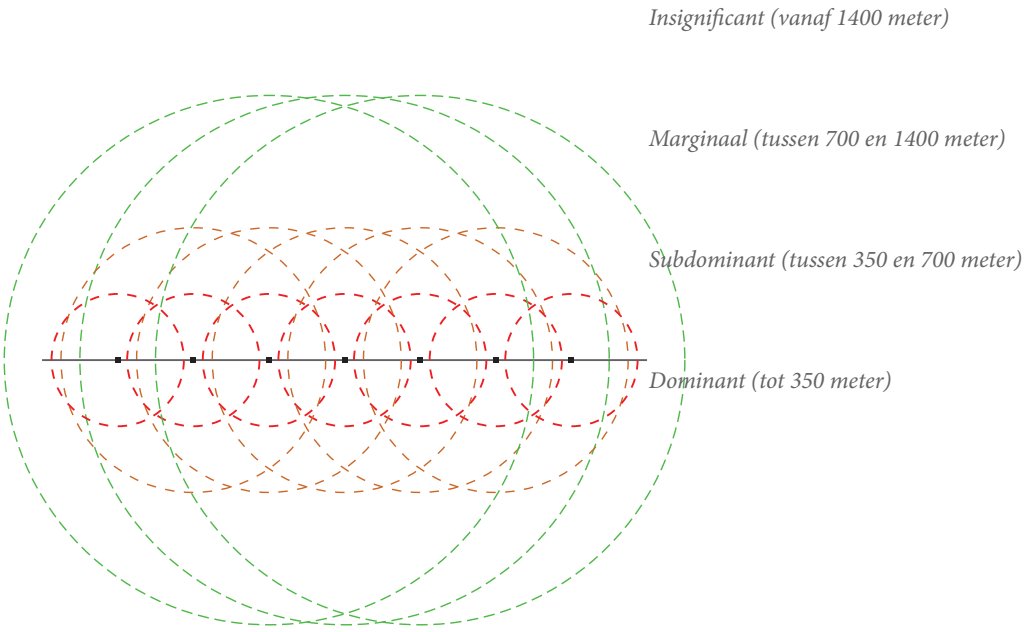
Voor de categorieën dominant (*objectniveau*) zullen maatregelen op lokaal niveau nodig zijn om de visuele impact op de waarnemer van een hoogspanningsverbinding te beperken. Bij een tracé wordt door de waarnemer eerder de masten zelf dan de lijnen als storend ervaren. Bij de masten, en dat geldt voor zowel vakwerkmasten en buis- of kokermasten, zal de kop als het meest storende element van de mast worden ervaren.

Voor de categorieën subdominant en marginaal (*lijnniveau*) is het aangewezen om het landschap rondom de lijn te versterken. Vanuit de landschappelijke benadering zullen, afhankelijk van de regio en specifieke ruimtelijke karakteristieken, een aantal maatregelen worden voorgesteld die het landschap kunnen versterken.

Voor de categorie insignificant (*tracéniveau*) zullen maatregelen op lokaal niveau minder relevant zijn als gevolg van de grote afstand tussen de waarnemer en het object zelf. Bij dergelijke grote afstanden zal de hoogspanningsverbinding visueel met het landschap aan de horizon interfereren.



Visuele impact van een mast



Visuele aspecten op afstand

2.5.3. Visuele aspecten bij bundeling

Bij de bundeling van een tracé met andere grootschalige lijninfrastructuren kunnen we drie categorieën onderscheiden: bundeling op korte afstand (strakke bundeling), bundeling op middelgrote afstand (bundeling op afstand) en bundeling op grote afstand (zonebundeling).

Bundeling op korte afstand betekent dat de afstand zodanig kort is dat de twee gebundelde infrastructuren elkaar in de pas lopen (zelfde ritme, masthoogtes en veldlengtes) en kunnen door de waarnemer worden ervaren als één. De tussenafstand is zodanig kort dat de zone tussen deze twee lijninfrastructuren niet kan gebruikt worden voor andere landgebruik functies.

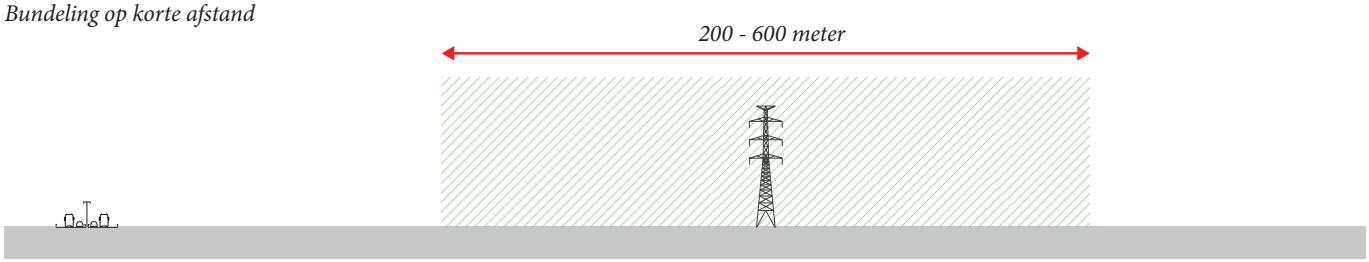
Bundeling op middelgrote afstand betekent dat de afstand zodanig groot is dat de tussenruimte gebruikt kan worden voor andere landgebruik functies. Het nadeel van bundeling op afstand is dat beide lijninfrastructuren visueel gaan interfereren wat als erg storend wordt ervaren vanuit de visuele perceptie.

Bundeling op grote afstand betekent dat twee typen lijninfrastructuren op een grotere schaal met elkaar zijn gebundeld. Doordat de onderlinge tussenafstand groot genoeg is en elke infrastructuur vanuit haar eigen wetmatigheden is vormgegeven, zal de visuele interferentie minimaal zijn.

De drie categorieën bundeling op afstand:

- Bundeling op korte afstand
- Bundeling op middelgrote afstand
- Bundeling op grote afstand

Bundeling op korte afstand



Bundeling op middelgrote afstand

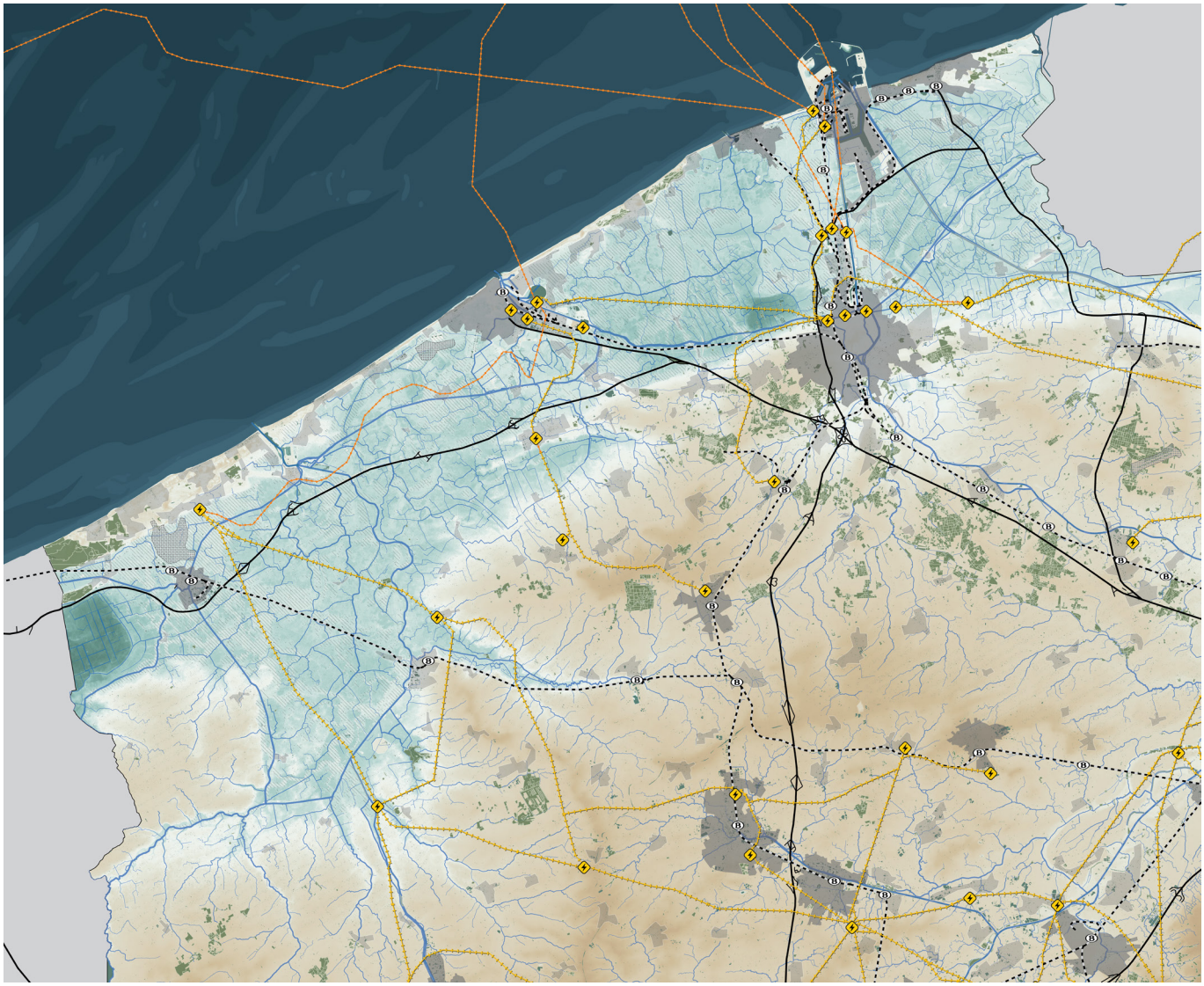
Bundeling op grote afstand

3. Tracéniveau

3.1. Methodiek landschappelijke analyse - Regionale benadering

3.1.1. Landschapskaart

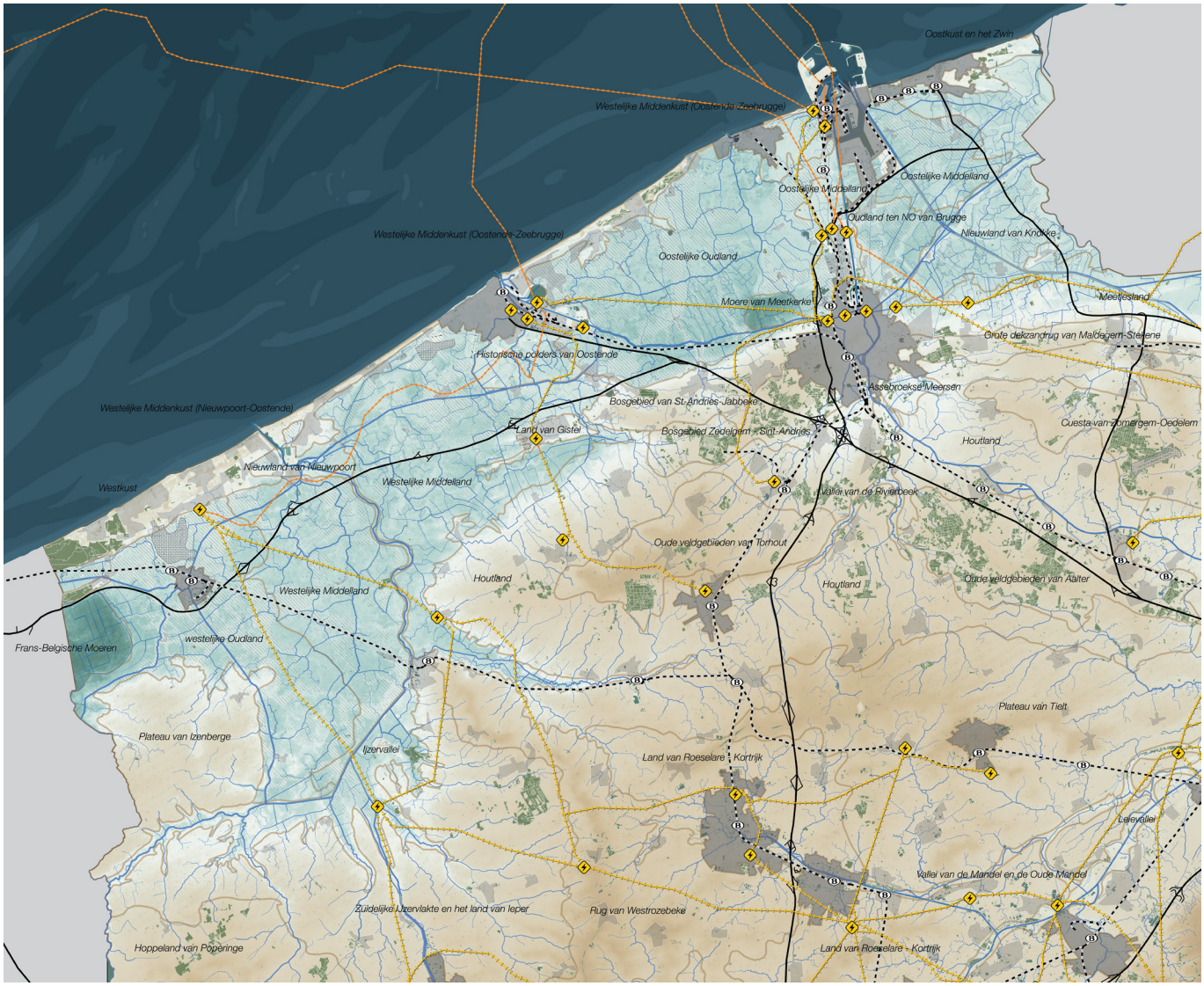
Om een sterke landschapsvisie te kunnen formuleren is het van belang om de landschapseenheden, de hoofdstructuren en het landgebruik van het landschap op de regionale schaal te herkennen, te benoemen, te verklaren en in kaart te brengen. Samen vormen ze de landschapskaart, een kaart die inzicht kan geven in de zoektocht naar tracés voor een nieuwe hoogspanningsverbinding. De landschapskaart geeft inzicht in hoeverre een nieuw tracé kan ingepland worden op basis van de huidige structuur van het landschap en welke traceringsprincipes de voorkeur hebben. De traceringsprincipes hebben betrekking op het bundelen met bestaande grootschalige infrastructuren, een lijn autonoom in het landschap laten verlopen ofwel een combinatie van beiden.



Landschapskaart

3.1.2. Landschapseenheden

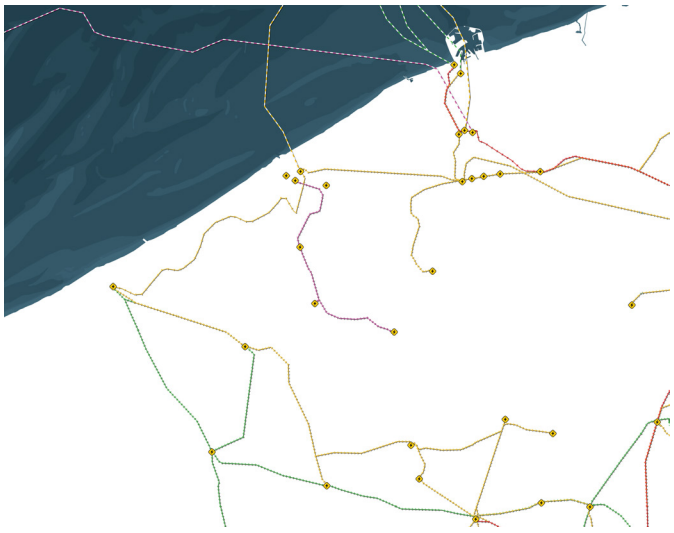
De landschapseenheden zijn onderdelen van de landschappen, die omschreven kunnen worden als eenheden met een specifieke geologische en bodemkundige structuur (duinen, polders, zandgebieden, enz.).



Landschapseenheden

3.1.3. Hoofdstructuren

Bij hoofdstructuren worden de grote infrastructurele ingrepen in het landschap in kaart gebracht. Deze hebben betrekking op de snelwegen, spoorlijnen, kanalen en bestaande hoogspanningslijnen.



Hoogspanningslijnen

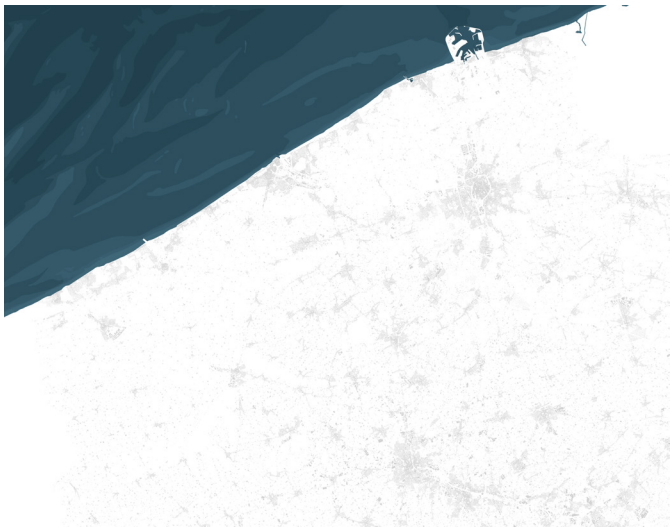
Spoorlijnen

Kanalen

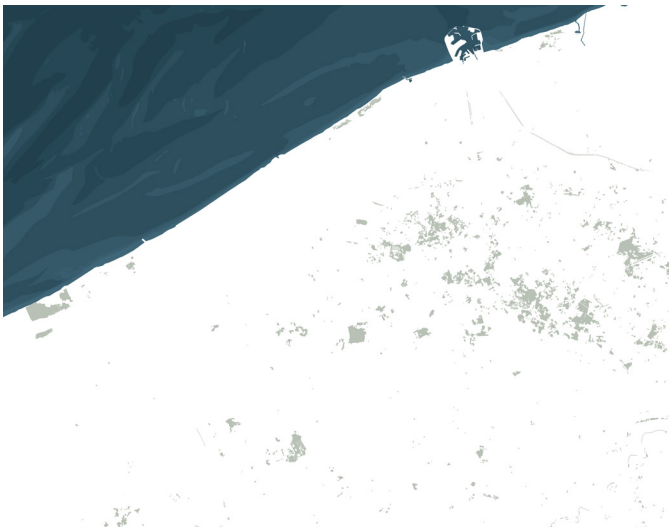
Hoofdwegen

3.1.4. Landgebruik

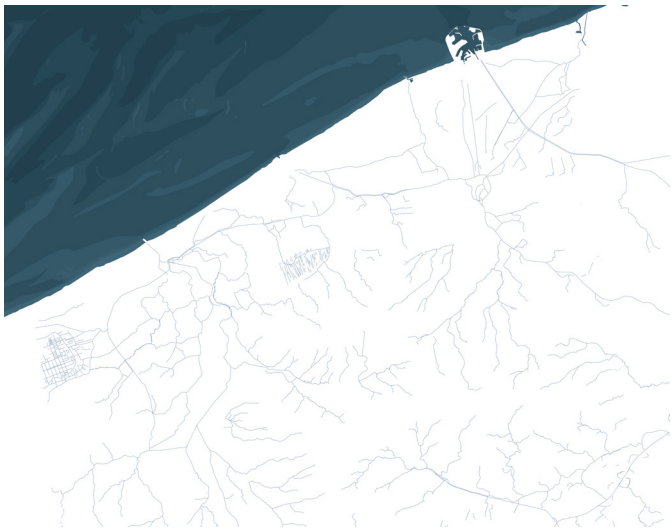
Bij landgebruik wordt de systematische ontginning van het landschap onderzocht. Het landgebruik omvat de grootschalige elementen in het landschap waarmee rekening moet worden gehouden bij het inplanten van een nieuw hoogspanningstracé, zoals bebouwing, bossen, waterlopen, geomorfologie, …



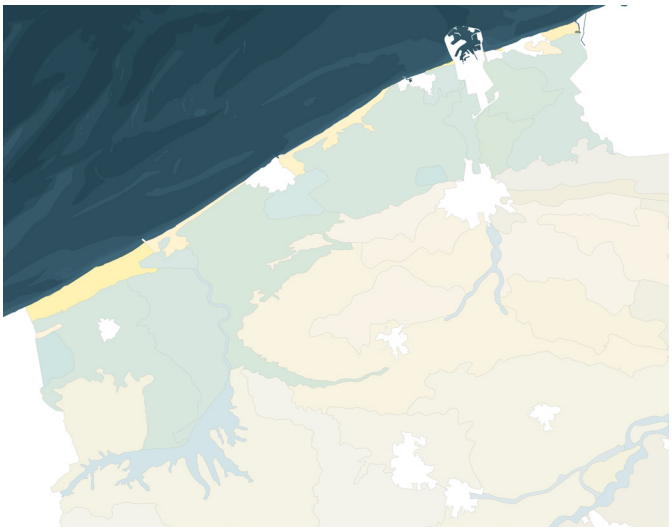
Bebouwing



Bosgebieden



Waterstructuur

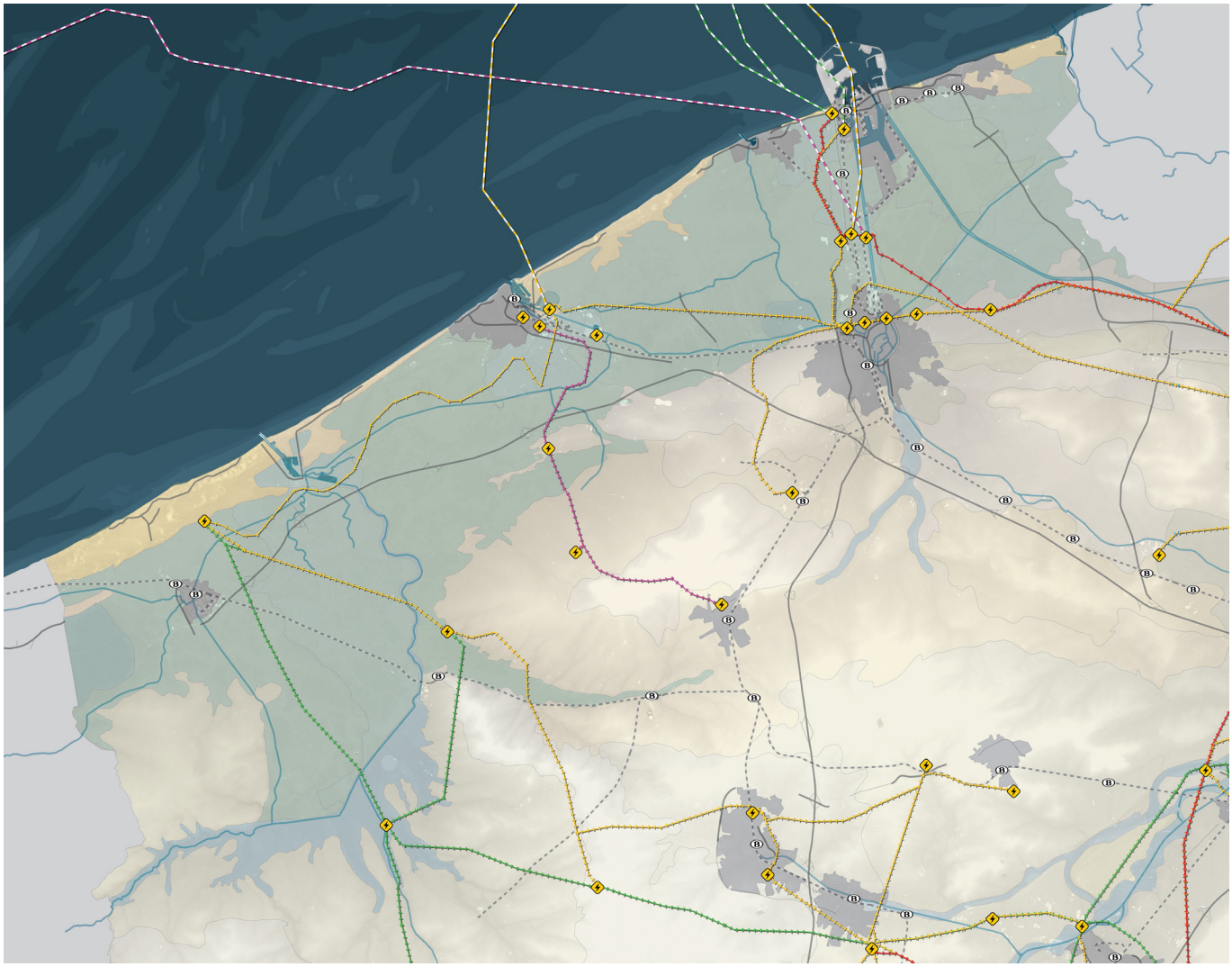


Geomorfologie

3.2. Landschappelijke karakteristieken - Regionale benadering

3.2.1. Hoofdstructuren

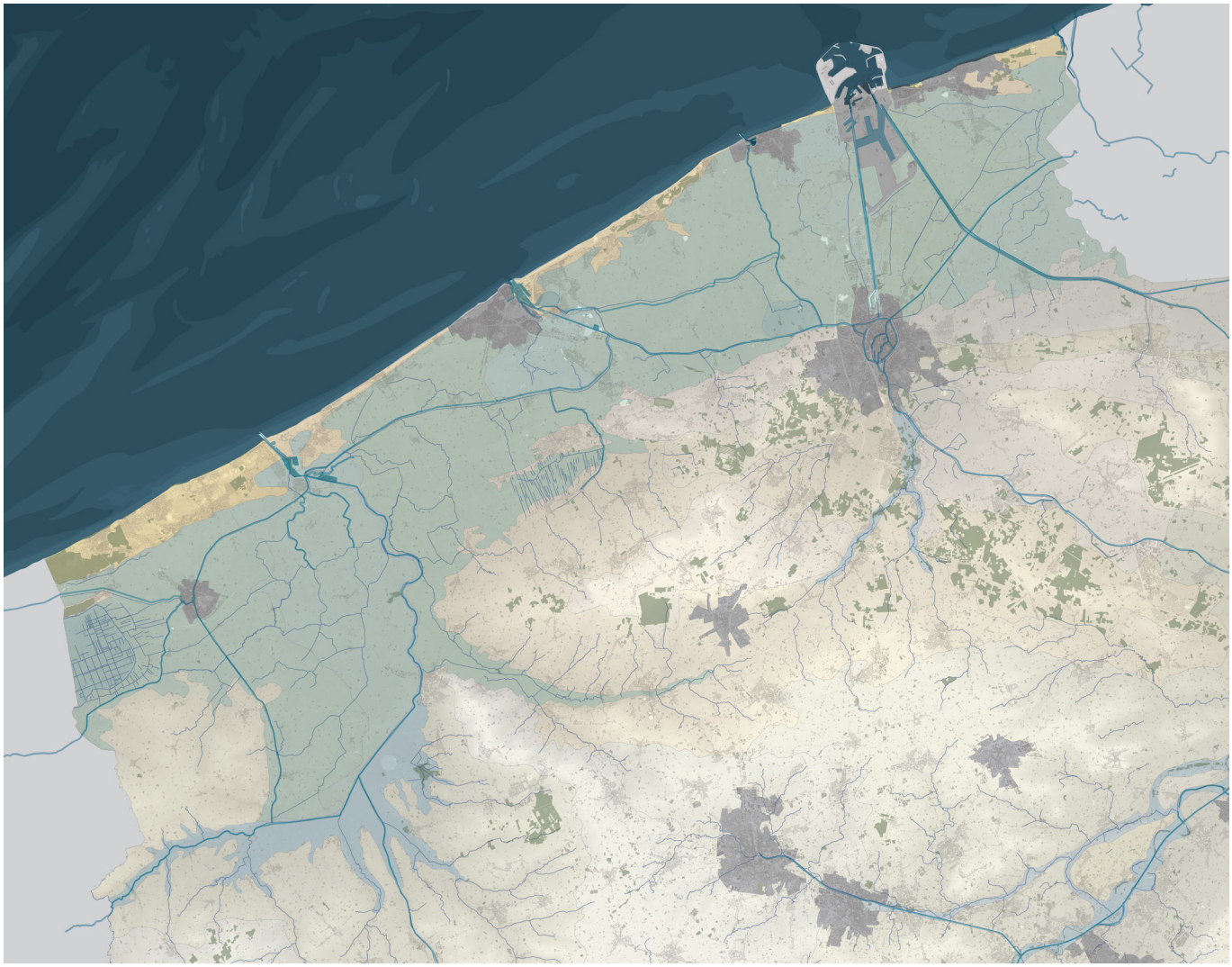
De grootschalige hoofdstructuren hebben zich in een relatief korte periode ontwikkeld tot een belangrijk onderdeel van het landschap. Door hun omvang zijn het vaak opvallende structuren in het landschap. Tegelijkertijd zijn deze hoofdstructuren ook de oorzaak van de versnippering van het landschap. Om te voorkomen dat het landschap nog verder wordt versnipperd, wordt er aangewezen om nieuwe tracés te bundelen met bestaande grootschalige infrastructuren.



De hoofdstructuren van het landschap

3.2.2. Landgebruik

Het landgebruik weerspiegelt de historische ontwikkeling van de natuur en mens en de invloed die beide hebben gehad op het actuele landschap. De grote landschappelijke structuren kunnen worden onderverdeeld in kleinere landschapseenheden met een specifieke identiteit. In de polders wordt een onderscheid gemaakt tussen oudlandpolders, middellandpolders en nieuwlandpolders. Een aantal van deze landschapseenheden zijn beschermd als cultuurhistorische landschappen of afgebakend als ankerplaatsen.



Het landgebruik van het landschap

3.2.3. Polders

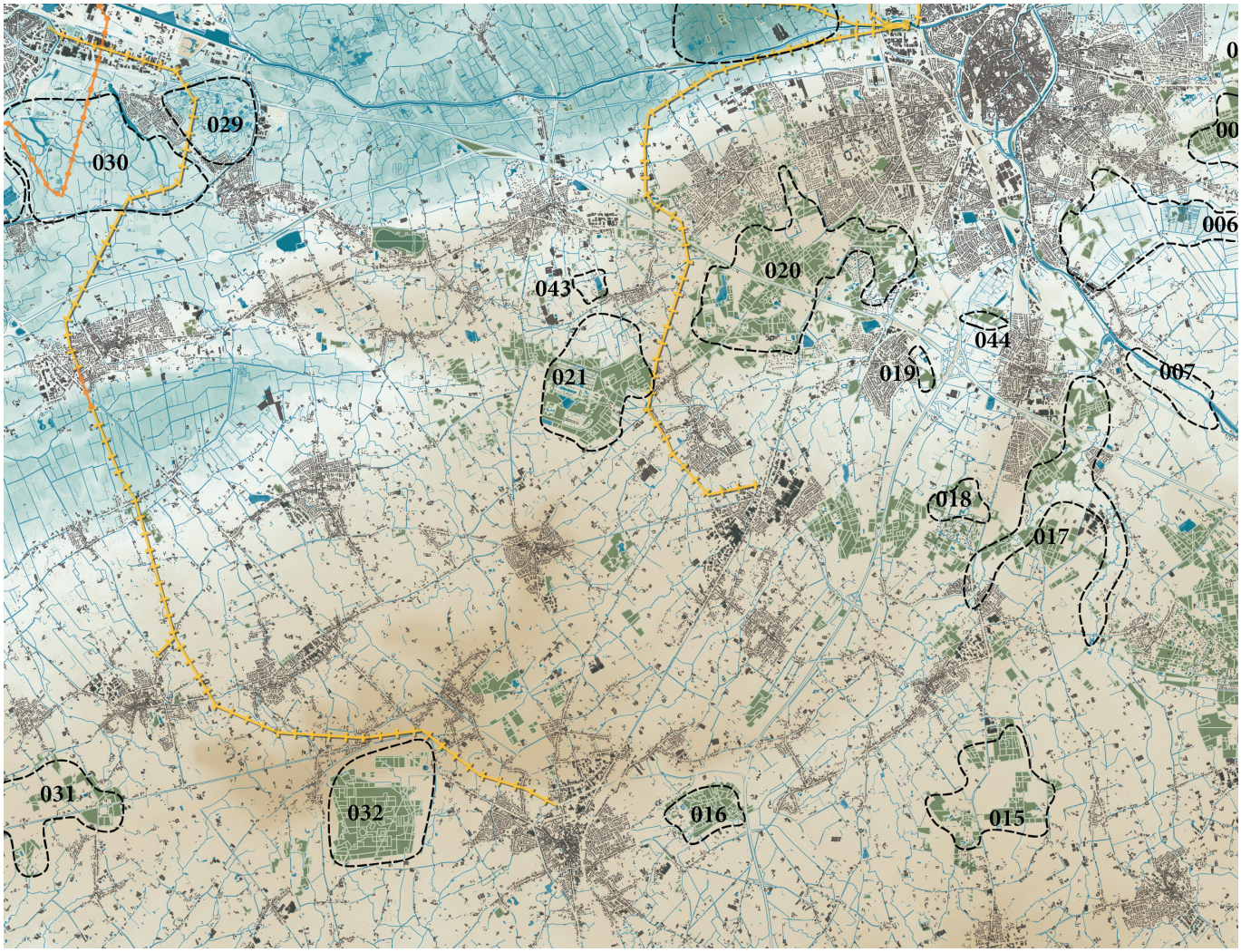
Ankerplaatsen en beschermde cultuurhistorische landschappen bij de polders:

004 – Polders nabij Dudzele
022 – Meetkerkse Moeren
023 – Groot Ter Doest en omgeving
024 – Oudemaarspolder
025 – De Fonteintjes en omgeving
026 – Uitkerkse polder
027 – Duinbossen tussen Oostende en Wenduine
028 – Poldergebied Klemskerke
029 – Zwaanhoek en omgeving
030 – Oostends Krekengebied
042 – Fort Napoleon en omgeving

3.2.4. Zandstreek

Ankerplaatsen en beschermde cultuurhistorische landschappen bij de zandstreek:

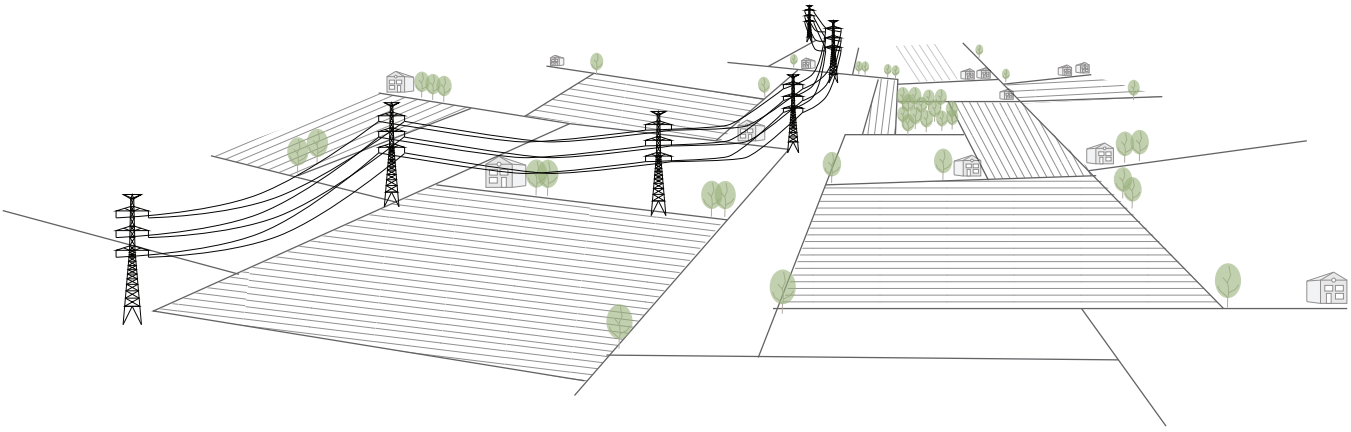
006 – Assebroekse Meersen, Beverhoutsveld en Bergskes
007 – Leiemeersen en Kanaal Gent-Brugge
015 – Lakebossen en Munkebossen
016 – Domein Groenhove en omgeving
017 – Kastelen Gruuthuyse, Erkegem en Kampveld
018 – Kasteeldomein Nieuwburg en De Breidels
019 – Kasteeldomein van Loppem en Hof van Breda
020 – Kasteeldomein Beisbroek en Abdij van Zevenkerken
021 – Vlotemveld en omgeving
031 – Koekelarebos, Praatbos en kasteeldomein Ter Heyde
032 – Wijnendalebos en kasteeldomein van Wijnendale
043 – Boerenmolen met omgeving
044 – Kasteeldomein Schoonhove



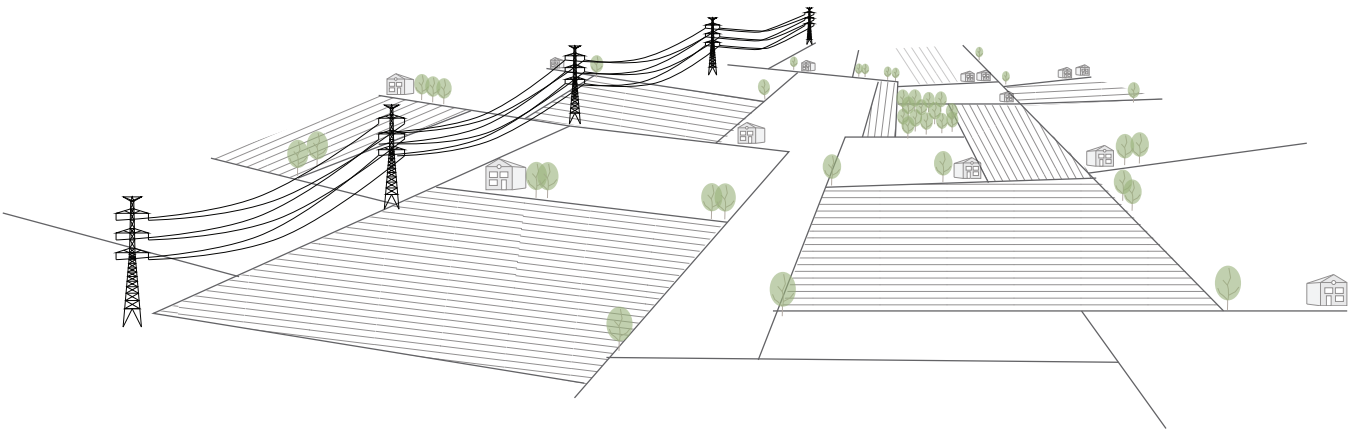
3.3. Ontwerpprincipes op tracéniveau

3.3.1. Open landschap

Bij de inplanting van een hoogspanningslijn in het open landschap, zij het de open polderlandschappen of het gefragmenteerde serre- en landbouwlandschappen, is het aangewezen om de lijn zo recht mogelijk te laten verlopen. Rechte lijnen met gelijkvormige masten verdwijnen in de visuele perceptie eerder naar de achtergrond en zal minder storend worden ervaren door de waarnemer. Een lijn met te veel richtingsveranderingen kan het effect, van de “verrommeling” van het landschap, versterken.



\- *Een lijn met veel richtingsveranderingen*



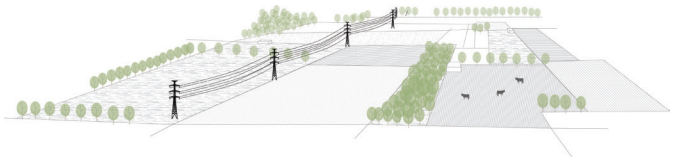
\+ *Een rechte lijn*

3.3.2. Bundeling met grote infrastructuren

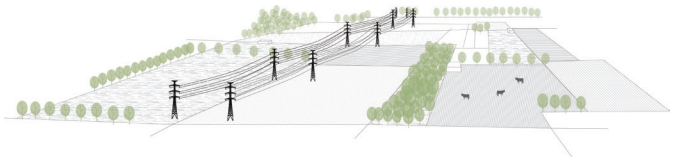
Op tracéniveau is bundeling met andere grootschalige infrastructuren aangewezen. We onderscheiden een viertal grootschalige lijninfrastructuren die gebruikt kunnen worden voor bundeling: bestaande hoogspanningstracés, snelwegen, spoorwegen en kanalen. De hoofdreden voor bundeling is het minimaliseren van de ruimtelijke impact van nieuwe infrastructuren in het landschap. Door één of meerdere infrastructuren te bundelen kan verdere versnippering worden voorkomen.

De vier typen grootschalige infrastructuren:

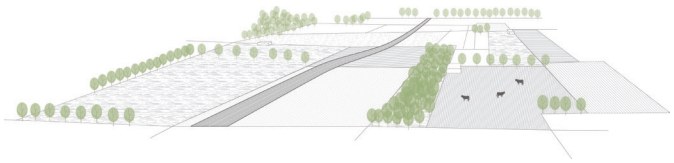
- Bestaande tracés
- Snelwegen
- Kanalen
- Spoorwegen



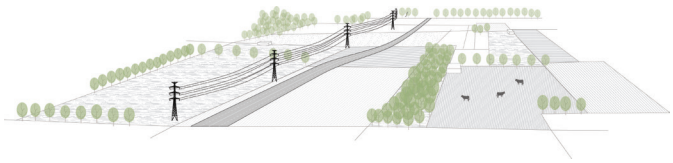
Bestaande tracé



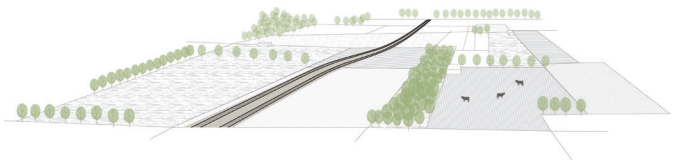
Bundeling met bestaande tracé



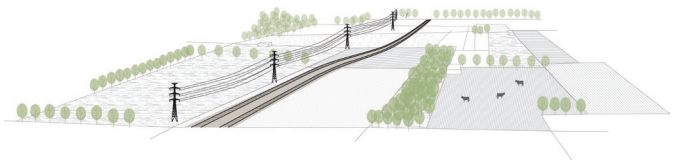
Snelweg



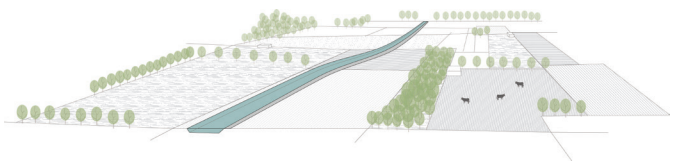
Bundeling met snelweg



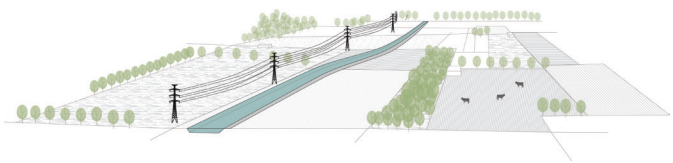
Spoorweg



Bundeling met spoorweg



Kanaal

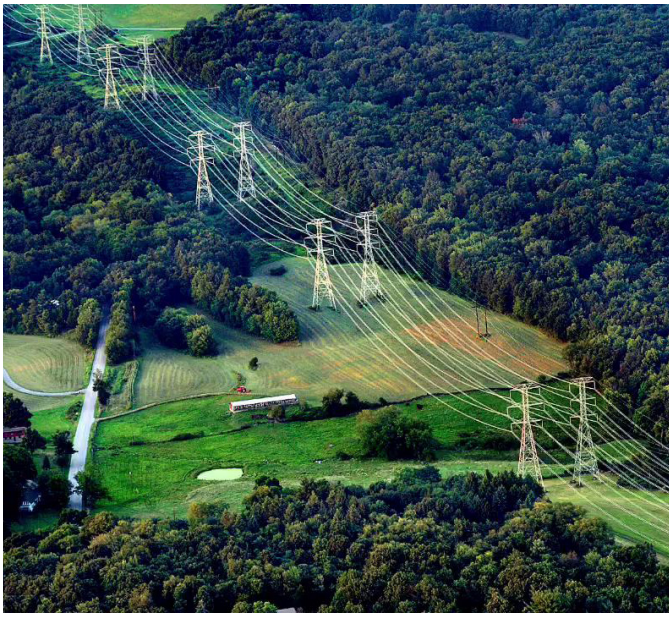


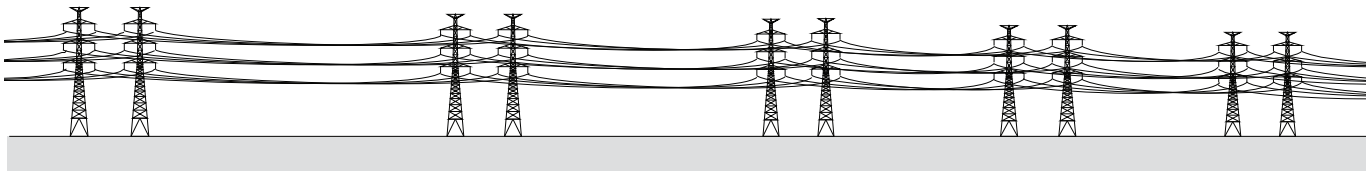
Bundeling met kanaal

3.3.3. Bundeling met bestaande tracés

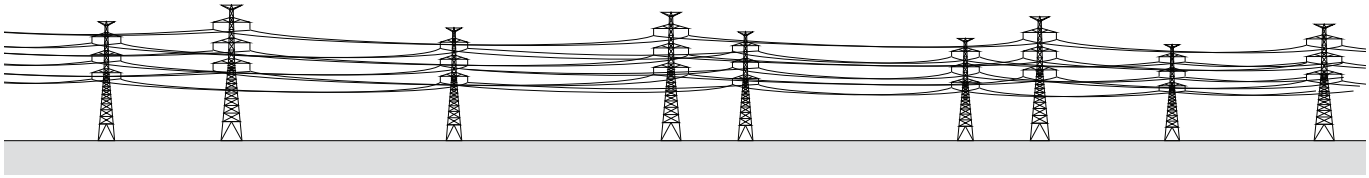
Bij bundeling met bestaande tracés wordt bij voorkeur hetzelfde masttype gebruikt als deze van het bestaande tracé. Een eenheid in masttype wordt als visueel minder storend ervaren voor de waarnemer. Indien er toch een andere masttype wordt gebruikt is het aangewezen om de inplanting van de masten “in de pas” te laten lopen met de bestaande masten. Dit betekent dat eenzelfde veldlengte en tussenafstand wordt gehanteerd als het bestaande tracé waardoor een ritme in de visuele beleving ontstaat.

De afstand tussen het bestaande en het nieuwe tracé dient zo kort mogelijk te zijn. De constructiewijze van het masttype en noodzakelijke veiligheidsafstand zal invloed hebben op de tussenafstand tussen beide tracés. Naarmate de afstand groter wordt zal de visuele beleving als storend worden ervan door de waarnemer.

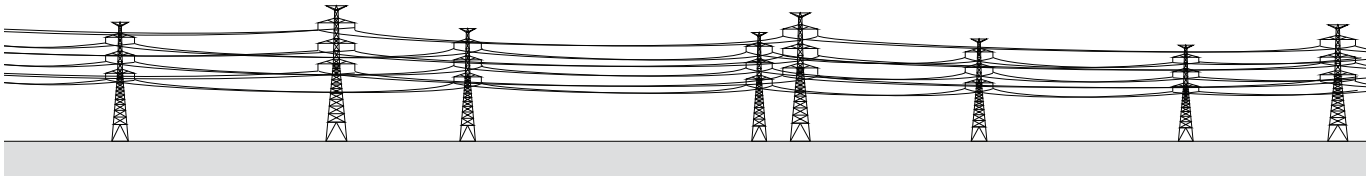




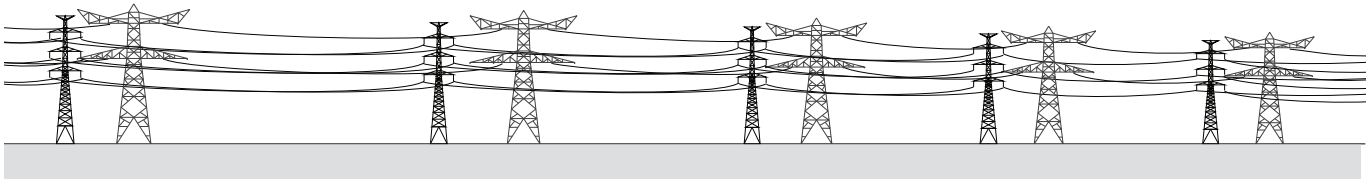
\+ *Bundeling tot 50 meter*



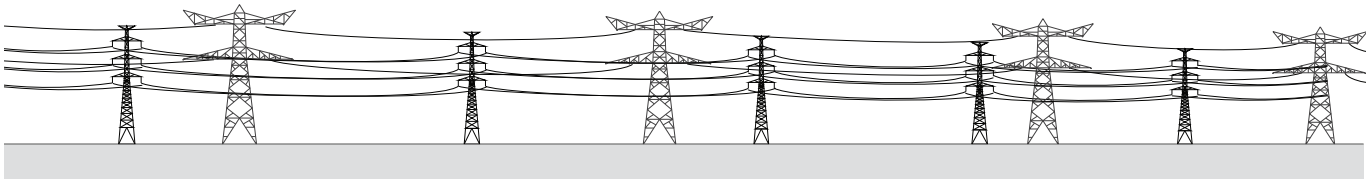
\- *Bundeling op 100 meter*



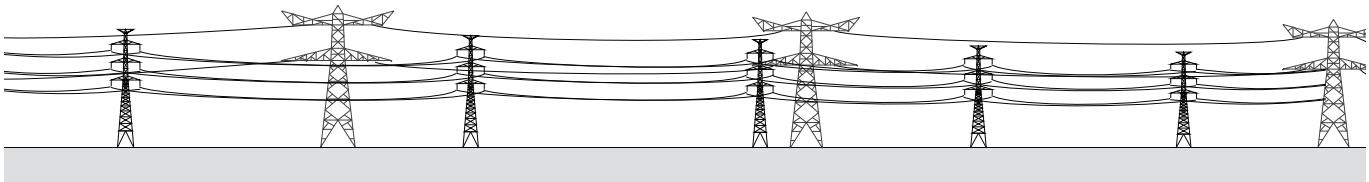
\- *Bundeling op 200 meter*



\+ *Bundeling tot 50 meter*



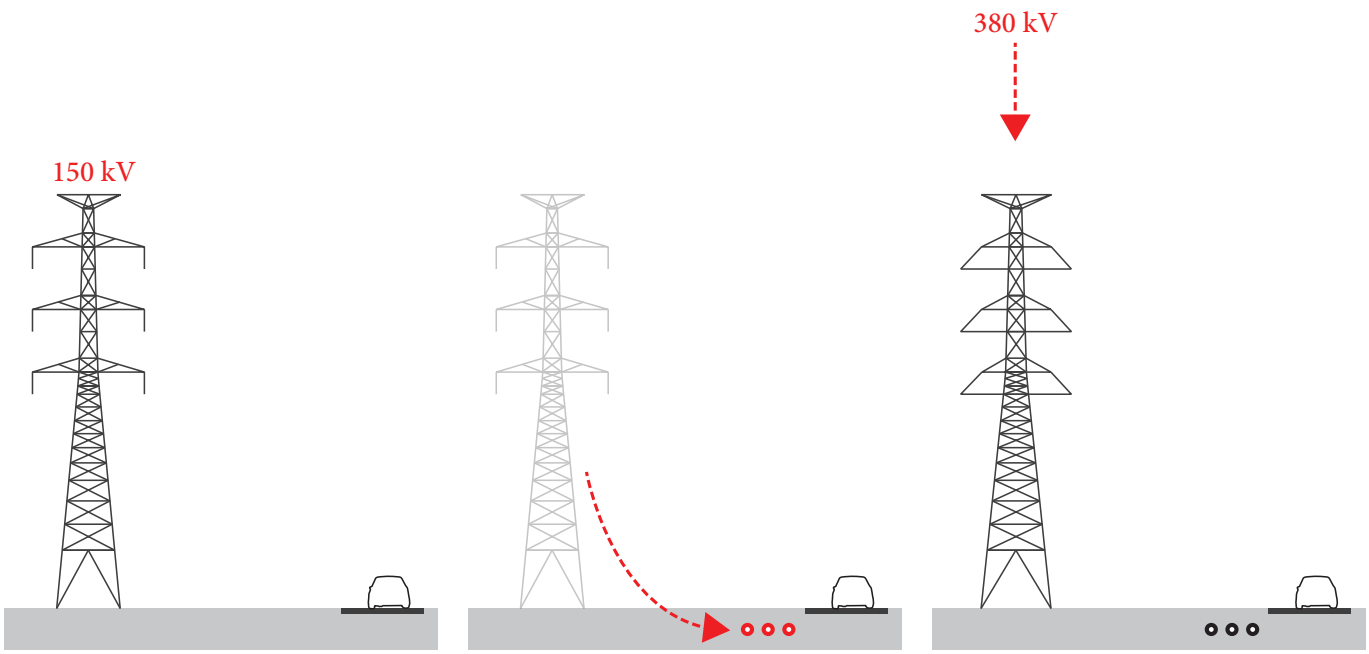
\- *Bundeling op 100 meter*



\- *Bundeling op 200 meter*

3.3.4. Herbenutting van bestaande tracés

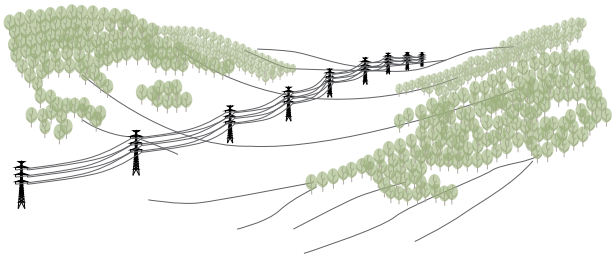
Bij de herbenutting van een bestaand tracé zal doorgaans voor een 150 kV tracé gekozen worden. Bij herbenutting zal de bestaande 150 kV lijn ondergronds worden gebracht. Het ondergronds brengen van een lijn gebeurt naast of onder een publieke wegzate, afhankelijk van de hoeveelheden en capaciteit van de lijn. De nieuwe 380 kV lijn wordt vervolgens op het bestaande 150 kV tracé ingeplant met een andere masttype. Om de visuele veranderingen te beperken kan de compacte Stevin-mast gebruikt worden, deze is identiek met de masten van een 150 kV lijn.



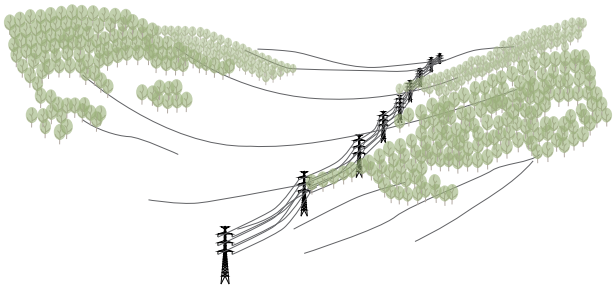
Bestaande 150 kV tracé *150 kV tracé ondergronds* *Nieuwe 380 kV tracé*

3.3.5. Valleien

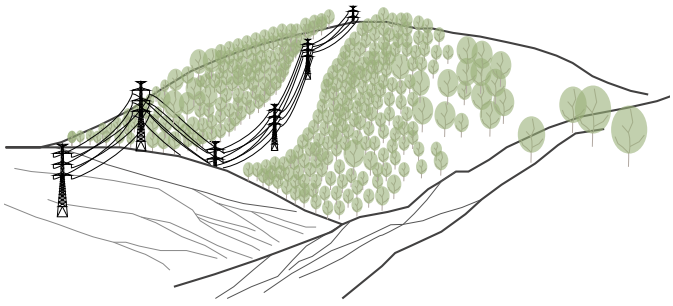
De inplanting van hoogspanningslijnen over heuvelkammen moet worden vermeden. Een tracé over een heuvelkam trekt visueel de aandacht en wordt als een zeer storend elementen in het landschap ervaren. Het is aangewezen om het tracé rondom de heuvelkam te leiden waarbij eenzelfde en bij voorkeur zo laag mogelijke hoogtelijn wordt aangehouden. Indien het tracé doorheen een dal loopt dient deze bij voorkeur excentrisch ten opzichte van het midden van het dal te worden ingeplant.



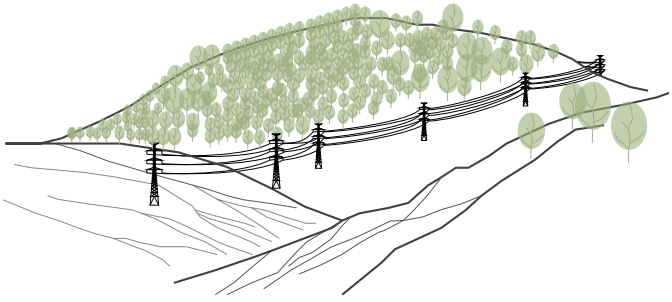
\- *De lijn midden in een dal*



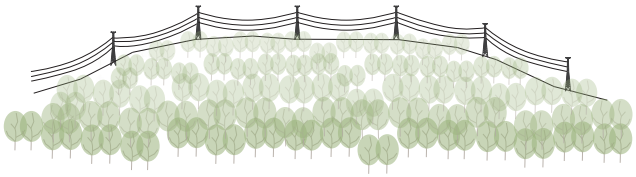
\+ *De lijn aan de rand van een dal*



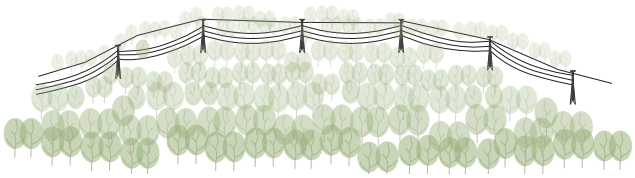
\- *De lijn over een heuvelkam*



\+ *De lijn rondom de heuvelkam*



\- *De lijn over een heuvelkam*

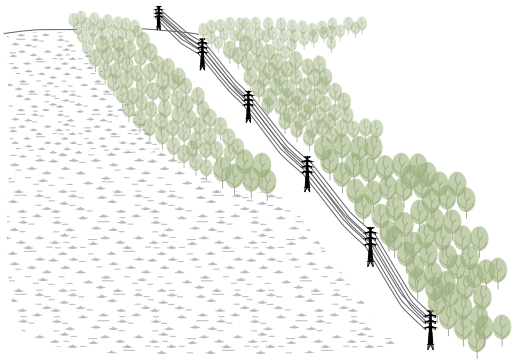


\+ *De lijn rondom de heuvelkam*

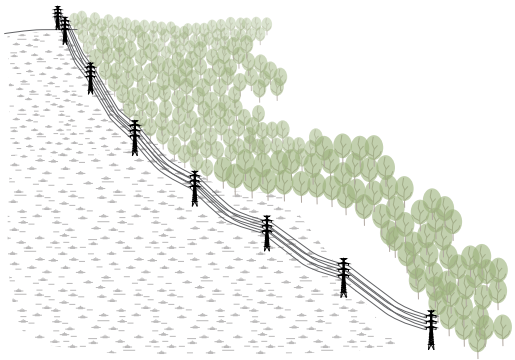
3.3.6. Bossen

Bij de inplanting van een hoogspanningsverbinding doorheen een bos is het aangewezen om in rechte corridor lagere beplantingen aan te planten en mantelzoom vegetaties langsheen de bosranden te voorzien zodat het visuele tunneleffect teniet wordt gedaan.

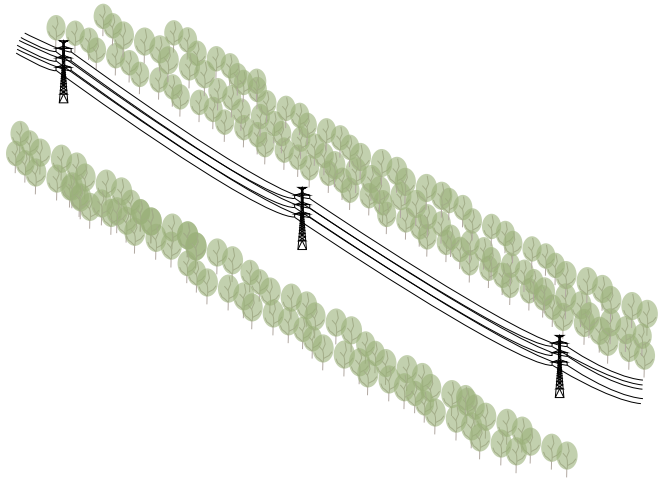
Indien het tracé langsheen de rand van een bos loopt zal de opgaande beplanting achter de masten het visuele verloop van het tracé milderen omdat de zichtlijn worden geleid naar de bosmassa en niet naar de kop van de mast.



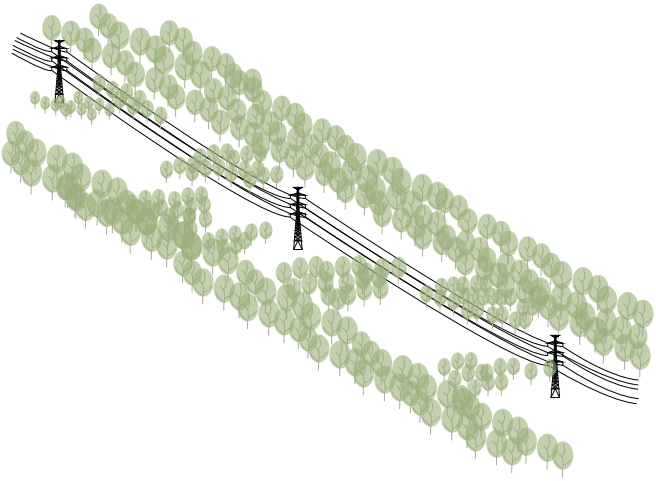
\- *Rechte corridors in het bos vermijden*



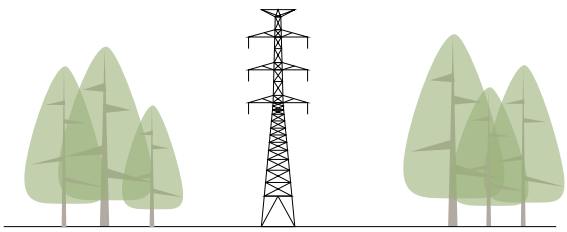
\+ *De lijn omheen het bos*



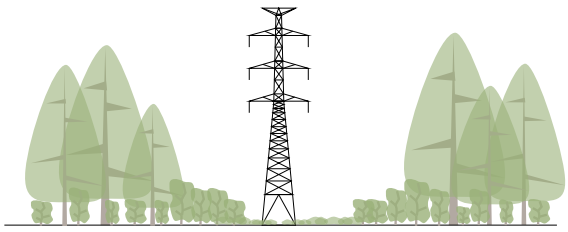
\- *Rechte corridors in het bos vermijden*



\+ *Aanplanting van lagere beplanting in de corridor van het tracé*



\- *Rechte corridors in het bos vermijden*



\+ *Aanplanting van lagere beplanting in de corridor van het tracé*

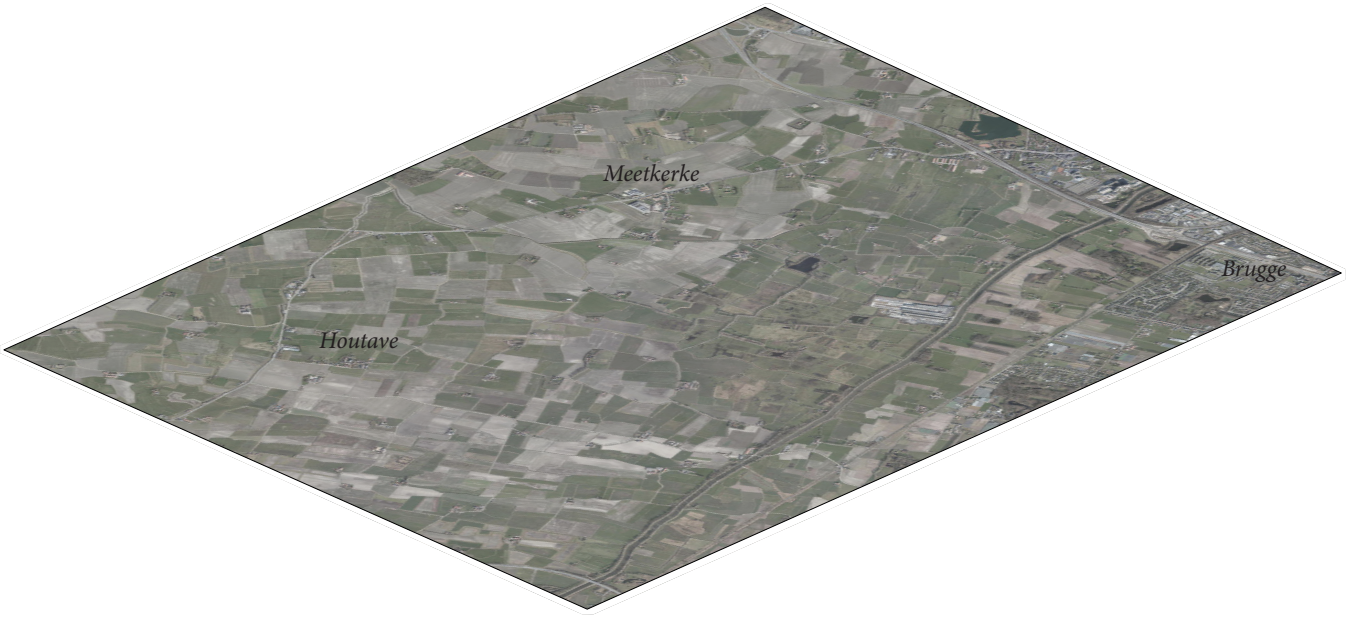
4. Lijnniveau

4.1. Methodiek landschappelijke analyse - Lokale benadering

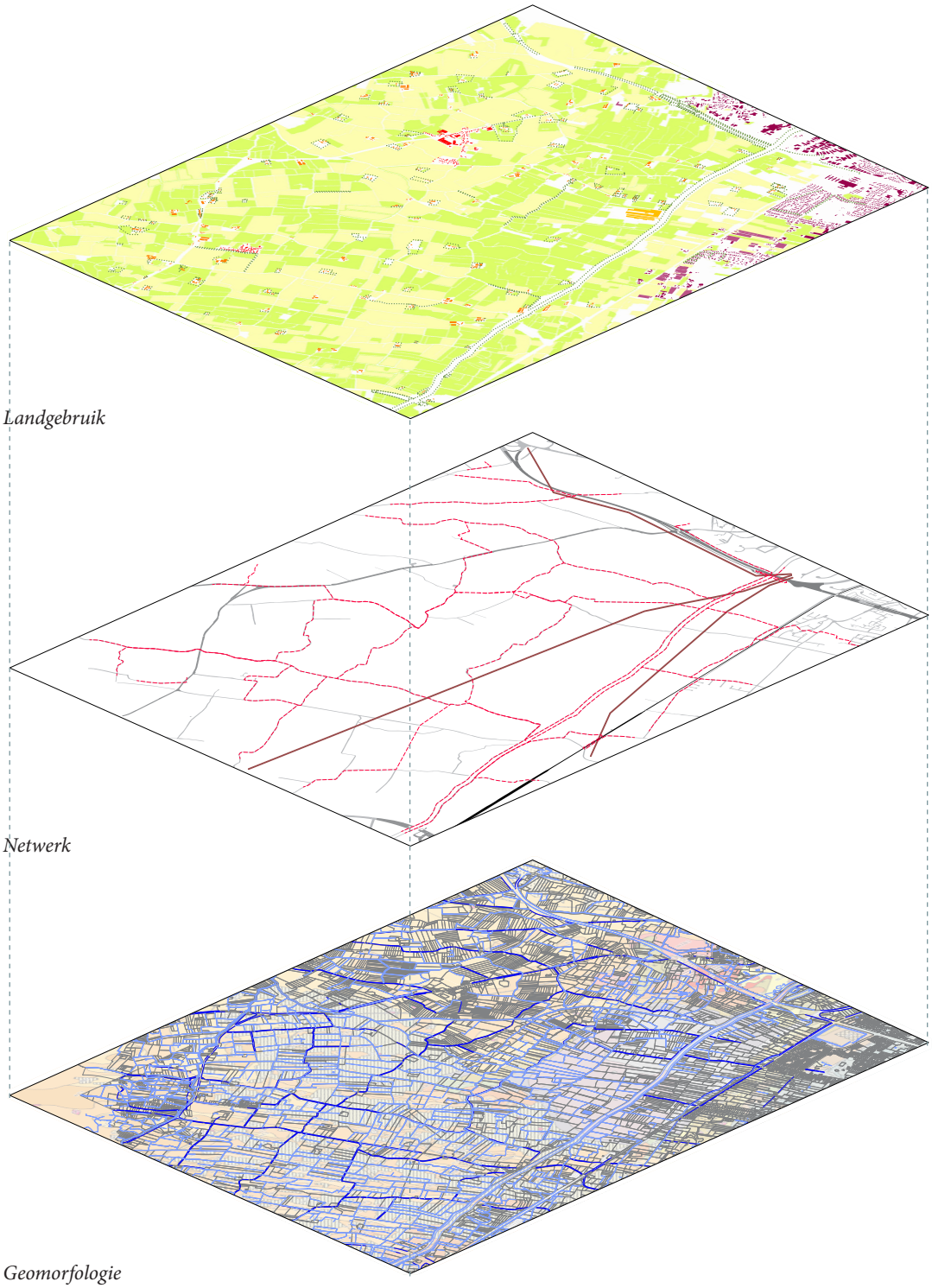
4.1.1. Inleiding

Om een gestructureerd landschapsvisie te kunnen formuleren is het van belang om de unieke patronen en structuren van het landschap op de lokale schaal te herkennen, te benoemen, te verklaren en in kaart te brengen. Hierbij is een grondige analyse per lokaal landschap noodzakelijk. Ter illustratie wordt hierbij de methodiek voor de landschapsanalyse toegelicht en toegepast op het landschap van de Meetkerkse Moeren het poldergebied rondom Houtave en de overgang naar zandstreek. In een latere fase wordt deze methodiek toegepast op de verschillende lokale landschappen waar het hoogspanningstracé doorheen snijdt.

Het landschap op de lokale schaal kan worden beschouwd als een samenhangend systeem dat opgebouwd is uit verschillende lagen. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de **geomorfologie** (bodem, waterstructuren, kavelpatronen), de **netwerken** (kanalen, wegen, spoorwegen, dijken, recreatieve routes, hoogspanningstracés) en het **landgebruik** (steden, dorpen, hoeves, beplantingen). Elke laag wordt gekenmerkt door een interne ruimtelijke logica en eigen landschappelijke verschijningsvorm.



Locatie case study



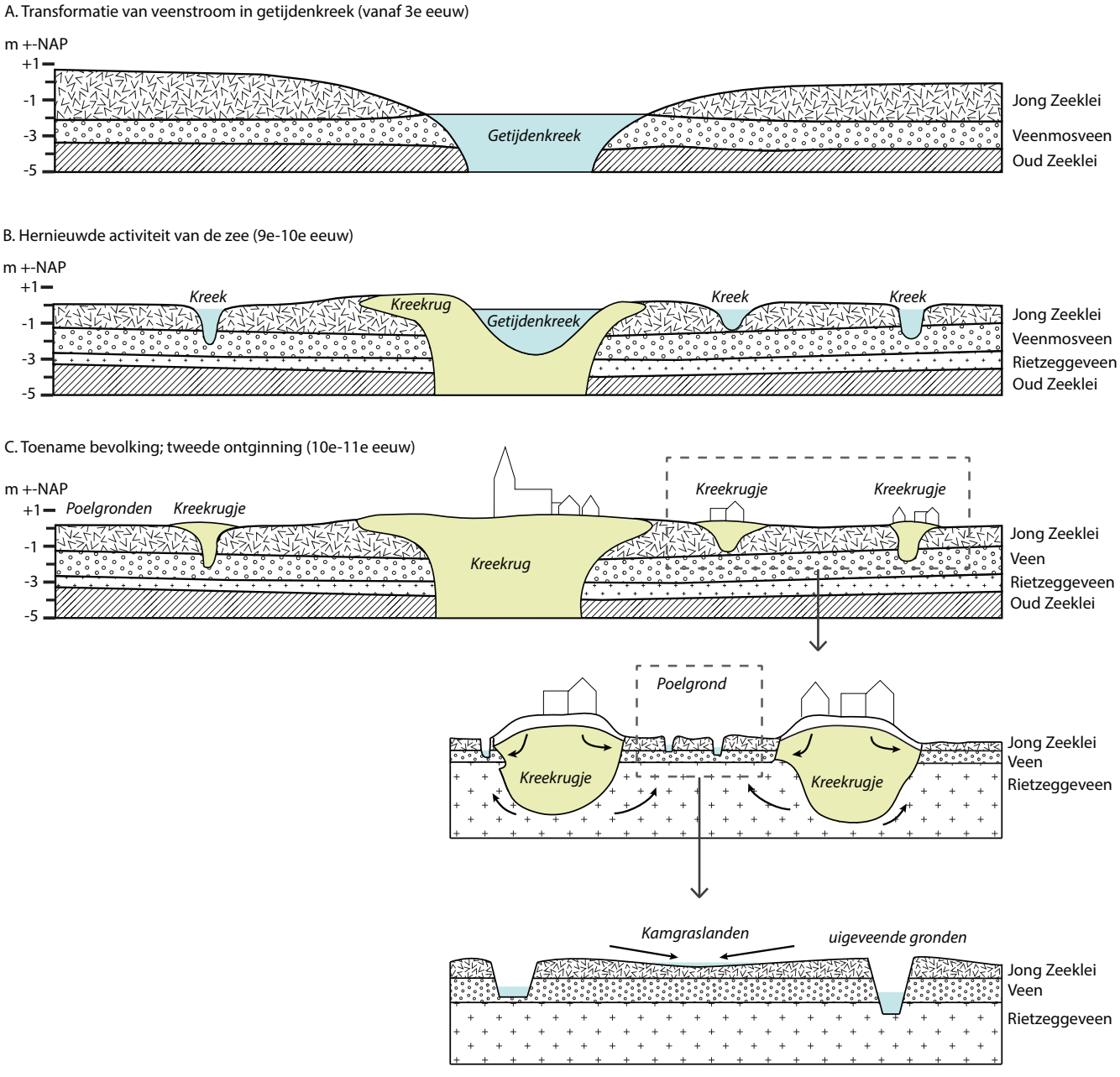
Landgebruik

Netwerk

Geomorfologie

4.1.2. Historiek

Het poldergebied rond Houthave is een oudlandpolder die gekenmerkt wordt door een microrelief van kleine hogergelegen kreekruggen en lagergelegen poelgronden. De meeste wegen lopen op de hoger gelegen kreekruggronden. De Meetkerkse moeren vormt een vroegere droogmakerij en waar tijdens de middeleeuwen veen werd ontgonnen. De lange smalle repelpercelen getuigen nog van de grootschaligheid en de systematiek van de middeleeuwse veenontginning. Dit karakteristieke perceelspatroon wordt geaccentueerd door perceelsrandbegroeiing zoals hagen, knotbomen en houtkanten. Tussen de percelen lopen talrijke grachtjes en sloten en ontwateringslaantjes waar rietvegetatie in voorkomt.



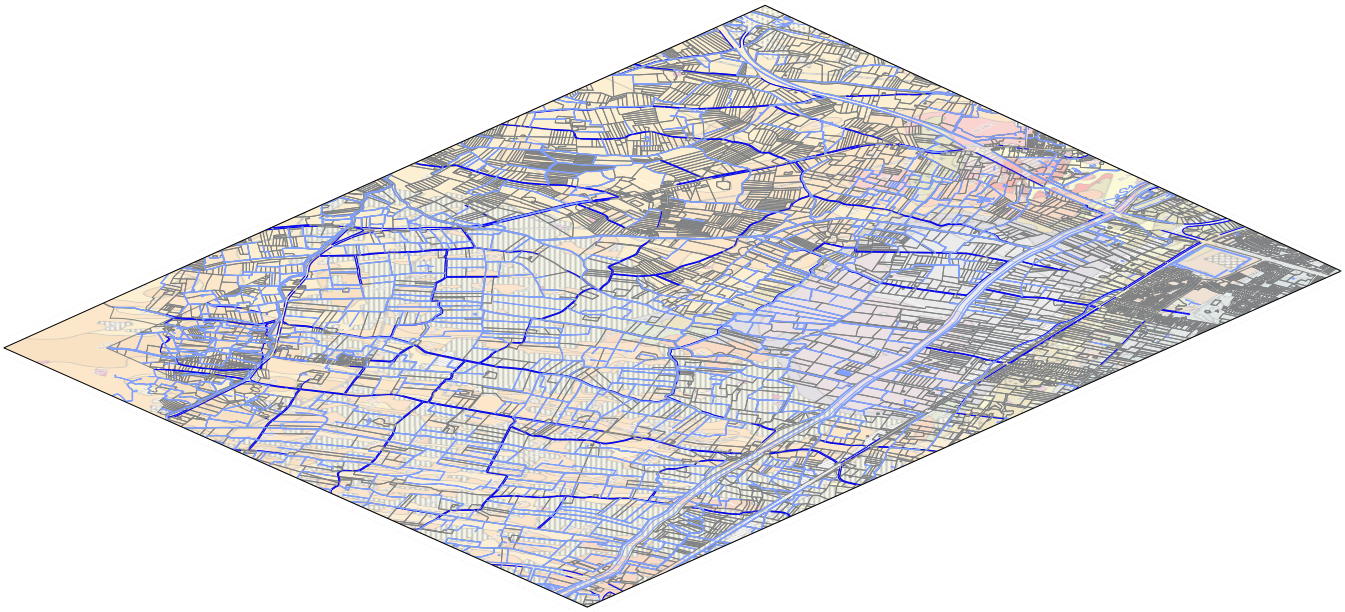
Ontstaansgeschiedenis polders

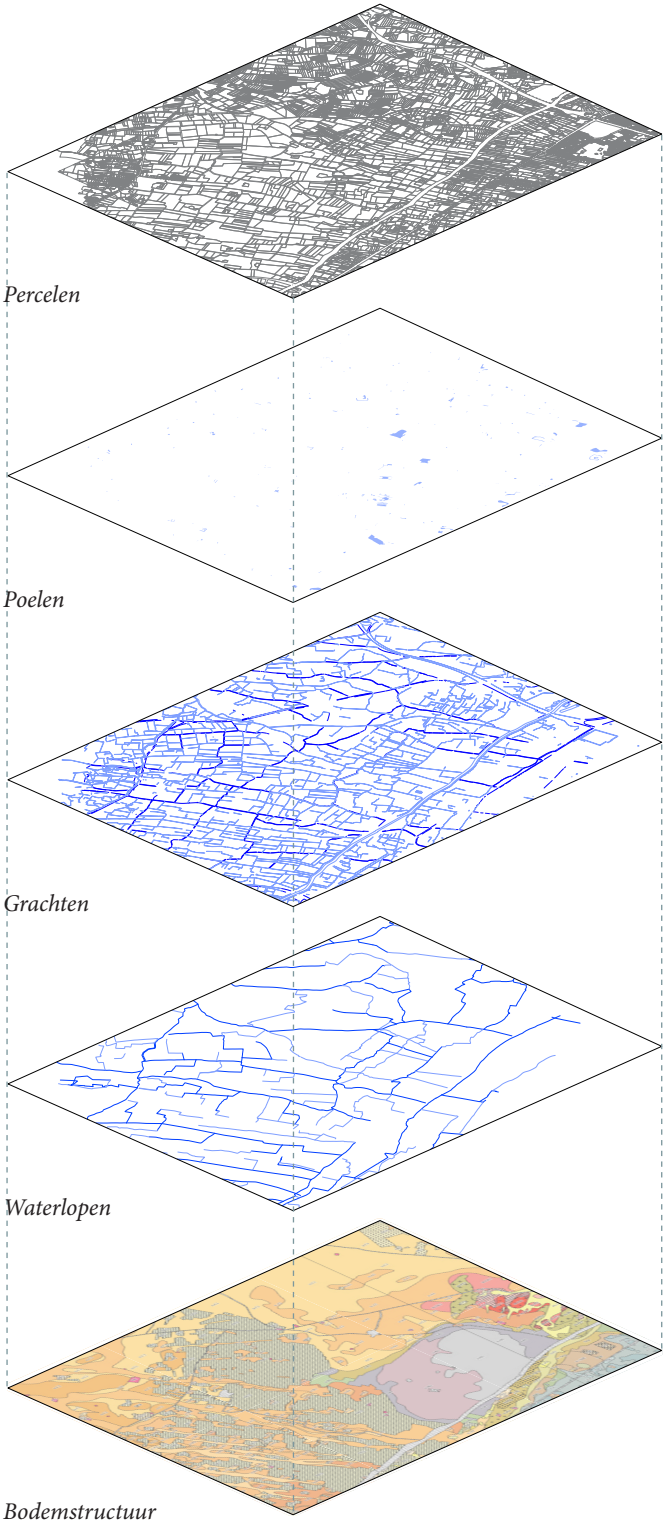
Vandermaelen kaarten (1846-1854) (geopunt.be)

Ferraris kaarten (1771-1778) (geopunt.be)

4.1.3. Geomorfologie

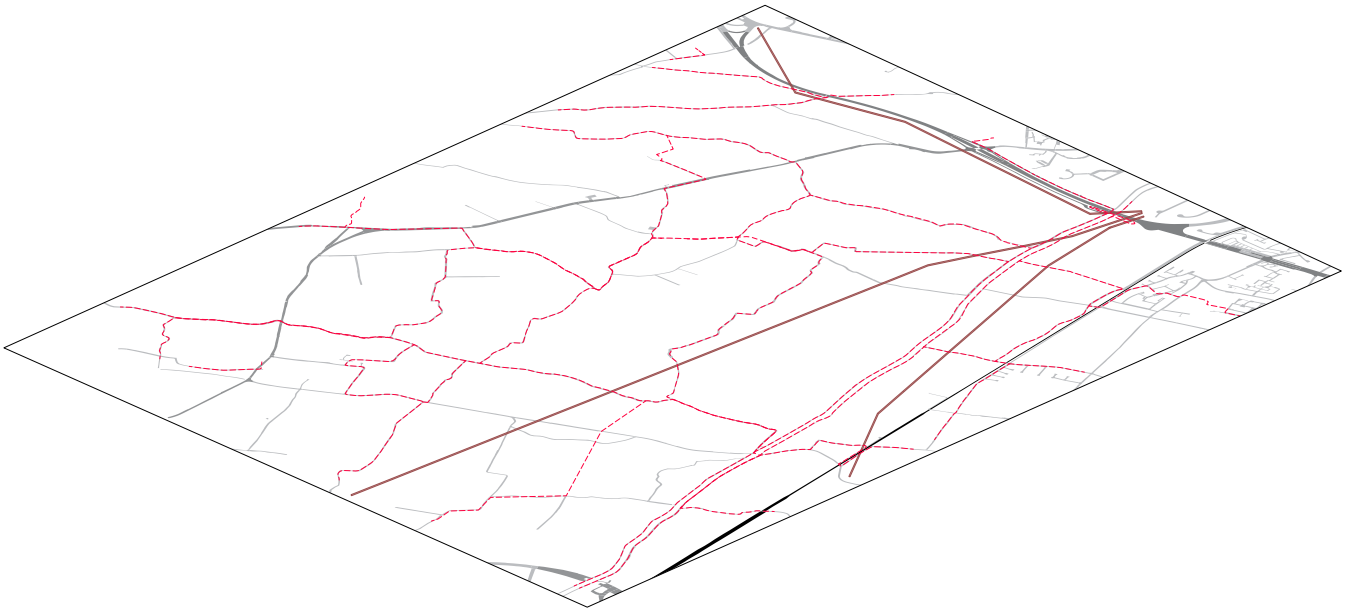
In de geomorfologische laag wordt het reliëf, de bodem, het watersysteem en de kavelstructuren in kaart gebracht. Het reliëf en de bodemstructuur zijn structurerend geweest voor het watersysteem (waterlopen, grachten, poelen) en ontginningspatroon en hebben geleid tot specifieke landschappelijke structuren en beplantingstypes (perceelbegroeiingen, knotwilgen, rietkragen,…).



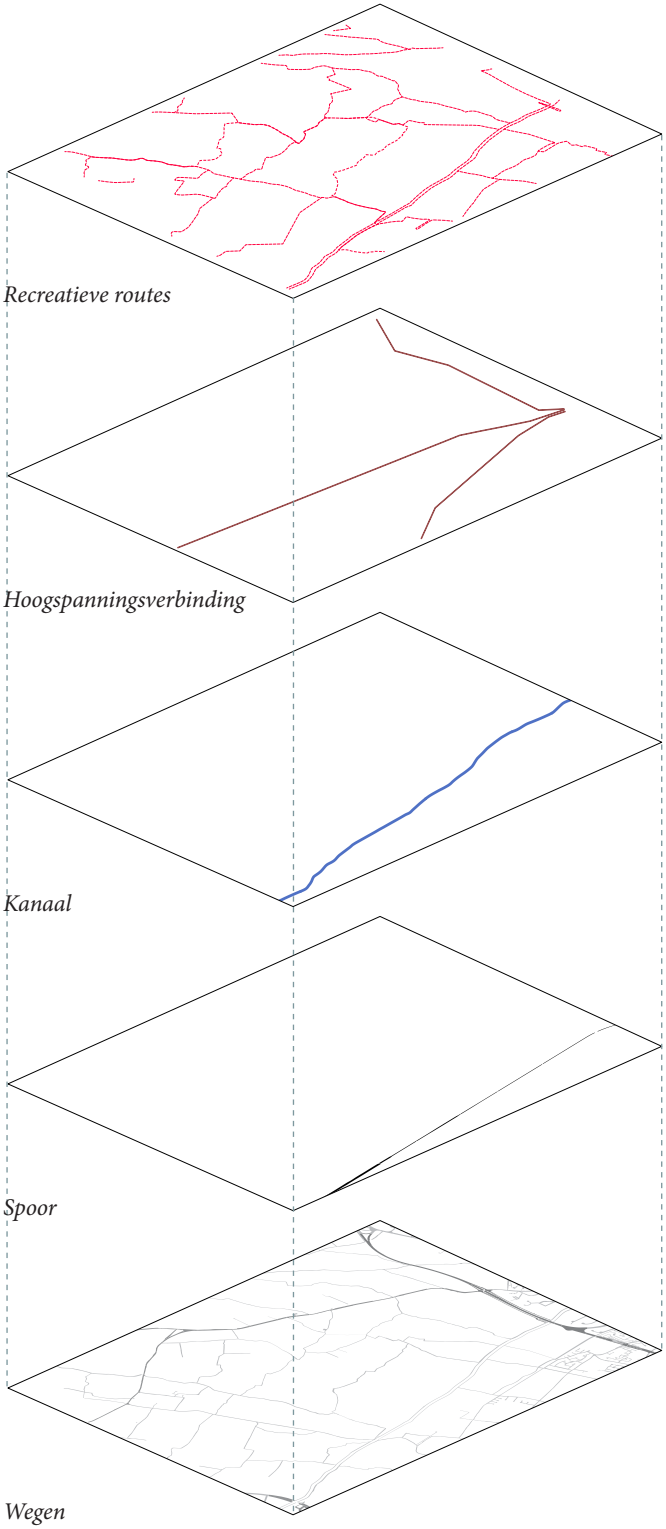

Percelen
Poelen
Grachten
Waterlopen
Bodemstructuur

4.1.4. Netwerken

In de netwerklaag worden de infrastructurele ingrepen in het landschap in kaart gebracht. Deze netwerken zijn aangelegd voor een welbepaalde functie zoals verplaatsing (wegen, kanalen, sporen, recreatieve routes) en bescherming (dijken) en hebben geleid tot specifieke landschappelijke structuren en beplantingstypes (dijkbeplanting, windhagen,…).

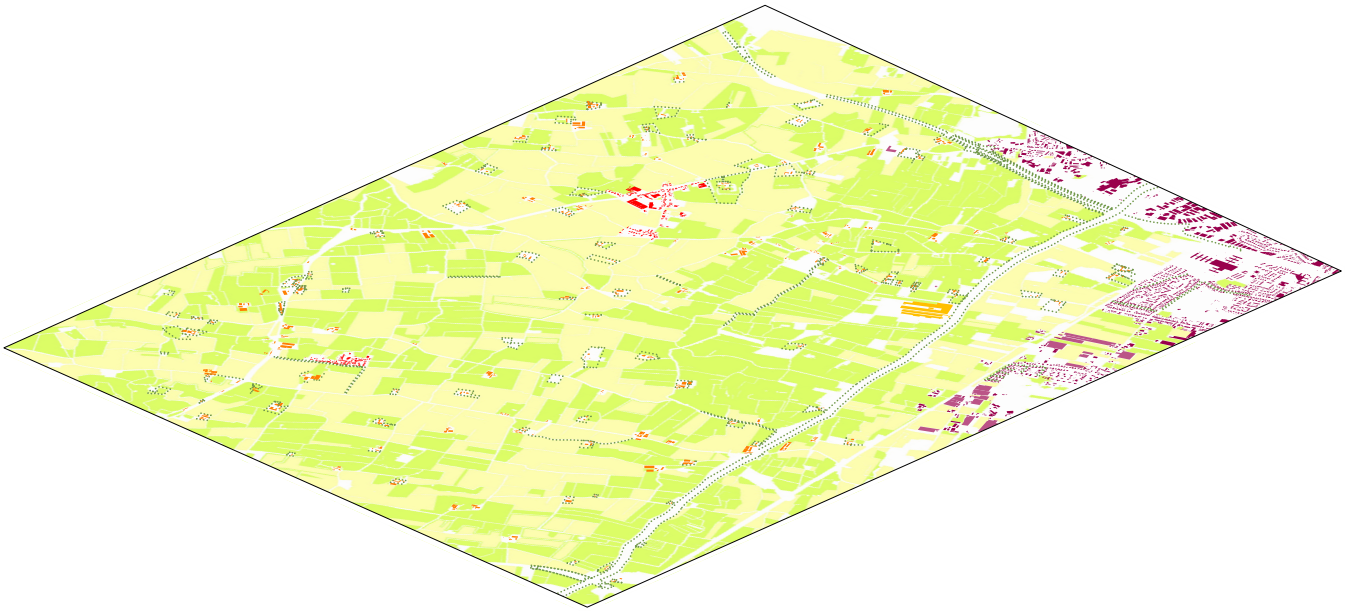


Netwerken


Recreatieve routes
Hoogspanningsverbinding
Kanaal
Spoor
Wegen

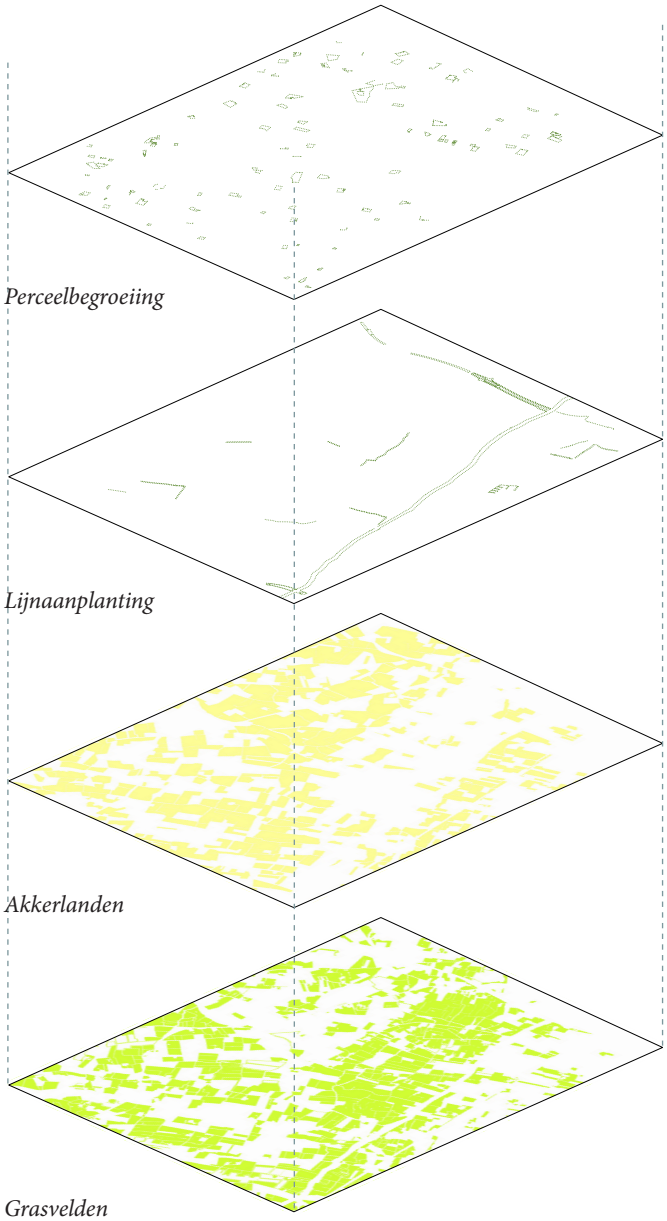
4.1.5. Landgebruik

In de landgebruikslaag wordt de ontginning van het landschap onderzocht. Het landgebruik omvat zowel bodemgebruik (graslanden, akkerlanden) als de bebouwingsvormen (dorpen, hoeves, …) met bijhorende beplantingstypes (erfbeplanting, …).



Landgebruik

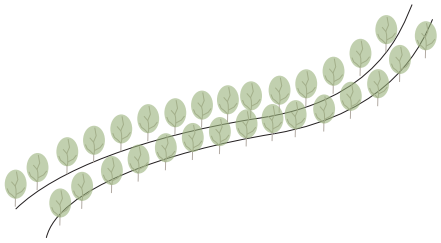
Industrie
Glastuinbouw
Hoeven
Dorpen
Steden


Perceelbegroeiing
Lijnaanplanting
Akkerlanden
Grasvelden

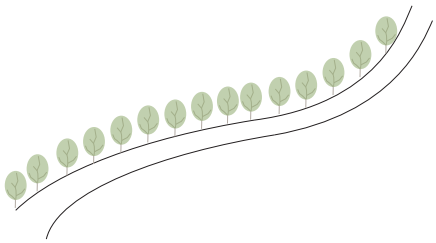
4.2. Landschappelijke karakteristieken - Lokale benadering

Bovenstaande landschapsanalyse maakt gebiedsspecifieke structuren, patronen en beplantingstypes per landschapstype inzichtelijk en resulteert in landschappelijke bouwstenen die exemplarisch zijn per landschap. Deze landschappelijke bouwstenen vormen de input vanuit de landschappelijke benadering voor het ontwerpend onderzoek op planniveau dat in het kader van de uitwerking van het detailtracé RUP wordt aangevat.

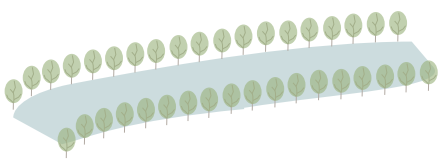
Via ontwerpend onderzoek worden de verschillende landschappelijke bouwstenen vanuit de verschillende benaderingen (regionaal, lokaal en visueel) in één alomvattend landschapsplan geïntegreerd waarbij per deelgebied een afweging wordt gemaakt welke landschappelijke bouwstenen op welke locatie worden toegepast.



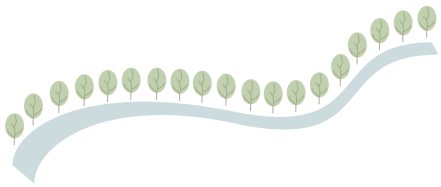
Dubbele rij bomen langsheen een hoofdweg



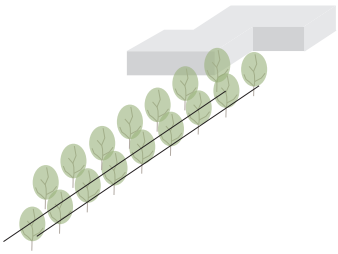
Enkel rij bomen langsheen een lokale weg



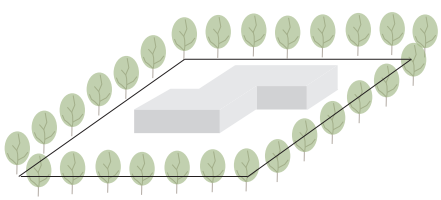
Dubbele rij bomen langsheen een kanaal



Enkel rij bomen langsheen een waterloop



Dubbele rij bomen langs oprijlaan

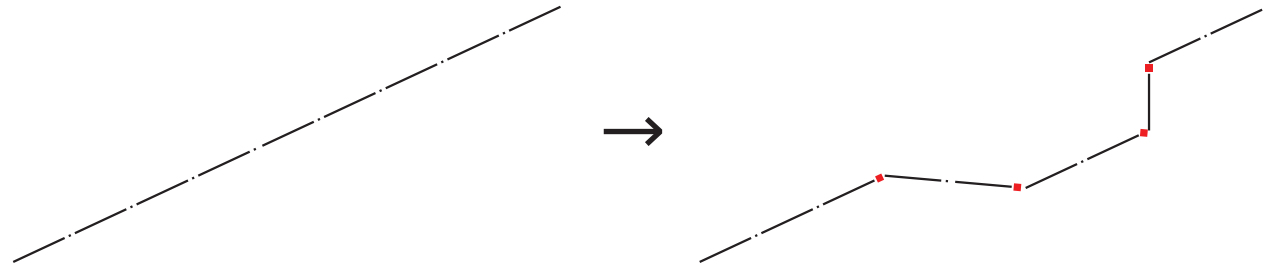


Bomen rondom hoeves

4.3. Ontwerpprincipes op lijnniveau

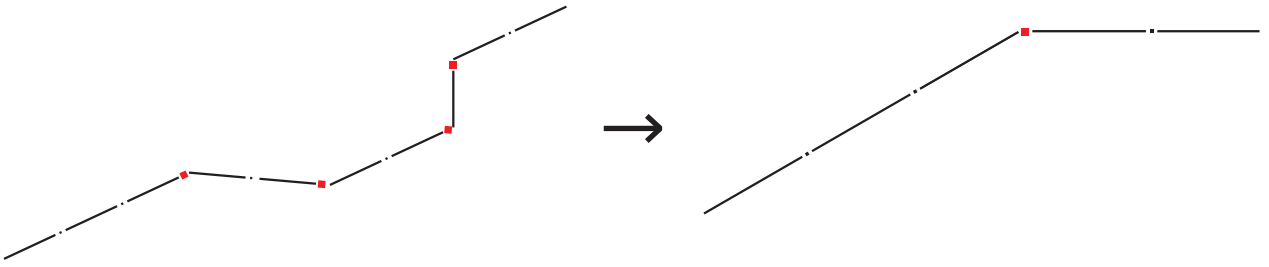
4.3.1. Verloop van de lijn

De ideale lijn is een rechte lijn, de kortste verbinding tussen twee punten. Door de specifieke karakteristieken van het landschap zal het verloop van de lijn echter nooit recht zijn en zullen knikken in de lijn noodzakelijk zijn. Het gevolg van veelvuldige richtingsveranderingen is een onoverzichtelijk lijnverloop en wordt als visueel storend ervaren. Een belangrijk aandachtspunt bij het bepalen van de richting van de lijn is om deze zoveel mogelijk recht te trekken en zo min mogelijk knikken te gebruiken. Het nadeel bij het hanteren van knikken is dat er zwaardere hoekmasten moet worden voorzien. In functie van de landschappelijke inpassing is het interessanter om met flauwe bochten te werken in plaats van met knikken omdat hierbij geen afwijkende hoekmasten noodzakelijk zijn.



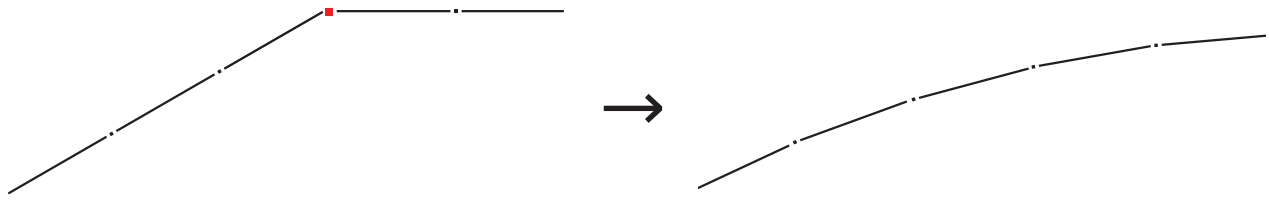
De ideale lijn

Verloop van een lijn



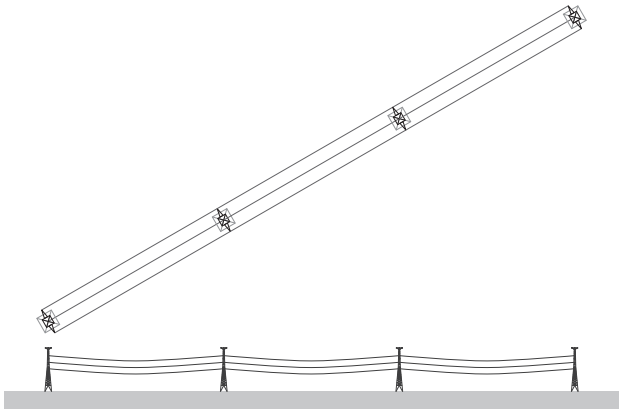
Een lijn met veelvuldige richtingsveranderingen

Zoveel mogelijk recht trekken, met min mogelijk knikken

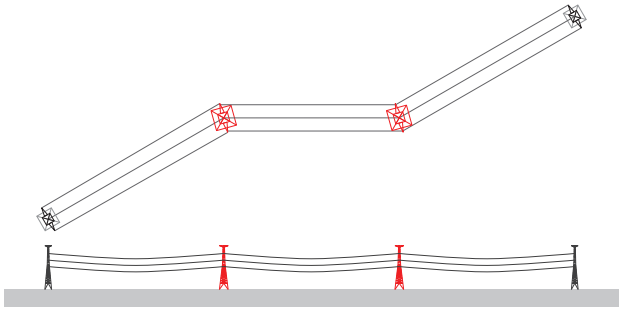


Een lijn met een knik

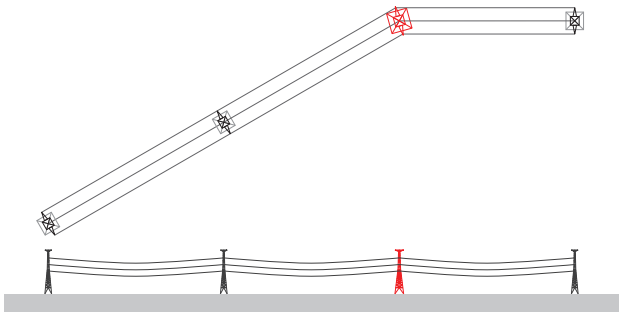
Een lijn met flauwe bochten



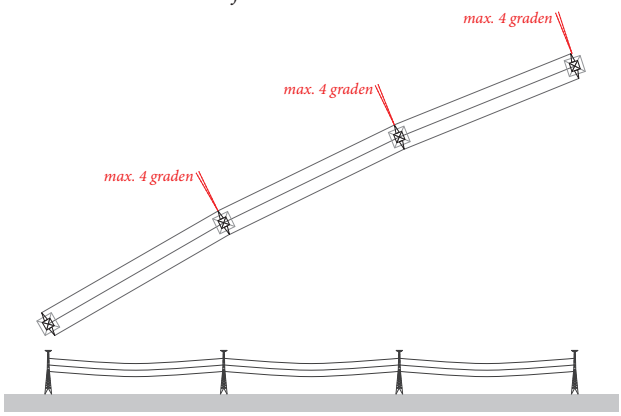
De ideale lijn is een rechte lijn



Veelvuldige richtingsveranderingen



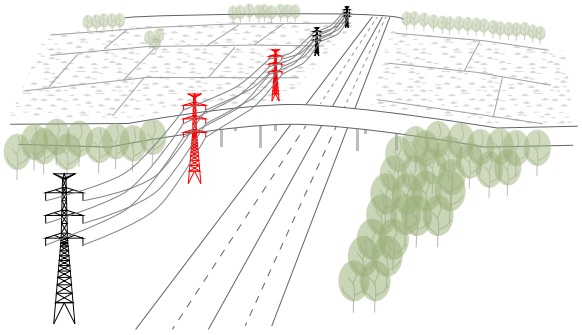
Minder knikken in een lijn



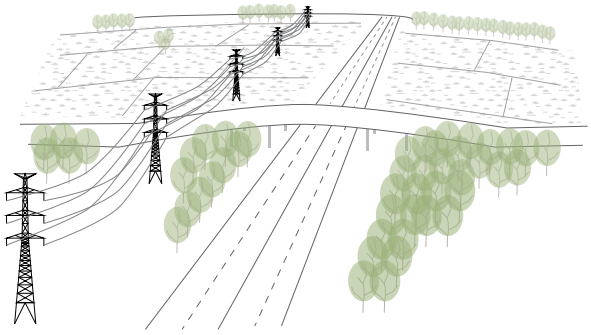
Lijn in een flauwe bocht

4.3.2. Parallel aan grote infrastructuren

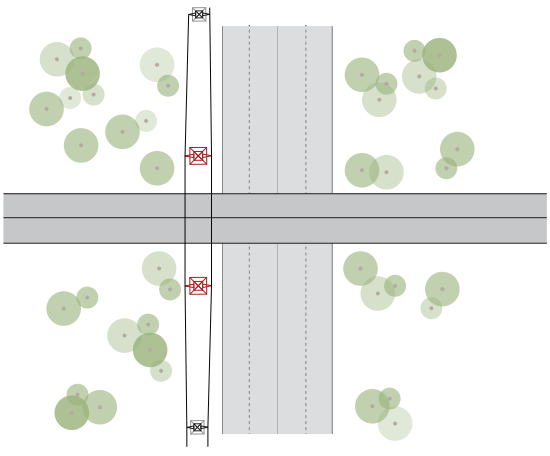
Het meest voorkomende obstakel langs een lijninfrastructuur zijn kruisende infrastructuren, zoals bruggen over kanalen of spoorwegen en andere hoogspanningslijnen. Er zijn twee mogelijkheden om te voorkomen dat er afwijkingen in de lijn, zoals hogere en bredere masten, nodig zijn om deze kruisende infrastructuren te overbruggen. Als eerste mogelijkheid kan het tracé op een grotere afstand van de bestaande infrastructuur worden ingeplant waardoor de continuïteit van de lijn kan worden behouden. Als tweede mogelijkheid kan het tracé zodanig worden ingeplant dat de masten in de directe nabijheid van de kruisende infrastructuren worden geplaatst waardoor er voldoende hoogte zal zijn tussen de lijn en de kruisende infrastructuur.



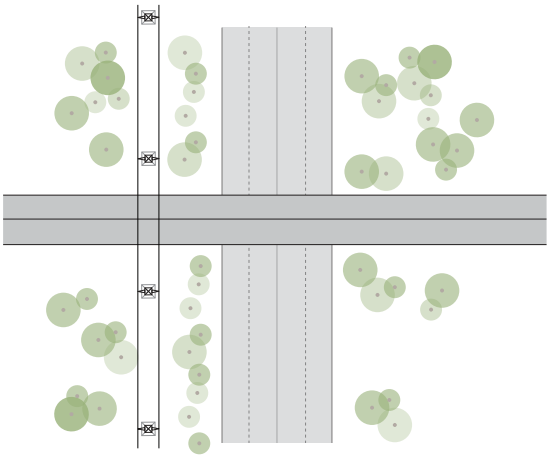
\- *Bij kruisende infrastructuren zijn hogere en bredere masten nodig*



\+ *Tracé op grotere afstand van infrastructuur inlanten*



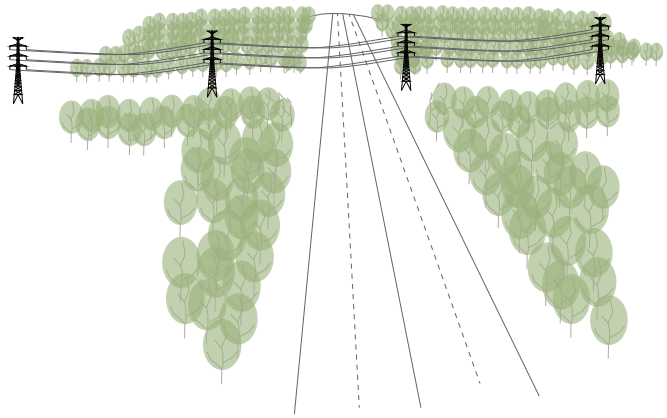
\- *Bij kruisende infrastructuren zijn hogere en bredere masten nodig*



\+ *Tracé op grotere afstand van infrastructuur inlanten*

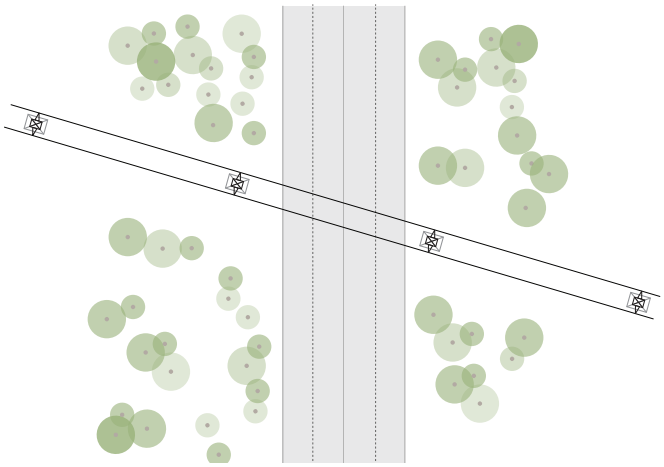
4.3.3. Dwars op grote infrastructuren

Indien het tracé een lijninfrastructuur dwars kruist is het aangewezen om de kruising loodrecht op de lengterichting van de infrastructuur te voorzien en de masten op gelijke afstand ten opzichte van het midden van de as te voorzien. Hierdoor zullen de lijnen die de infrastructuur kruisen visueel minder aanwezig zijn. Opgaande beplanting langsheen de snelweg of het kanaal kan de visuele impact van de masten sterk verminderen. Bij het kruisen van een spoorweg is het aangewezen om de masten zo dicht mogelijk bij het spoor in te planten in functie van de doorgangshoogte.

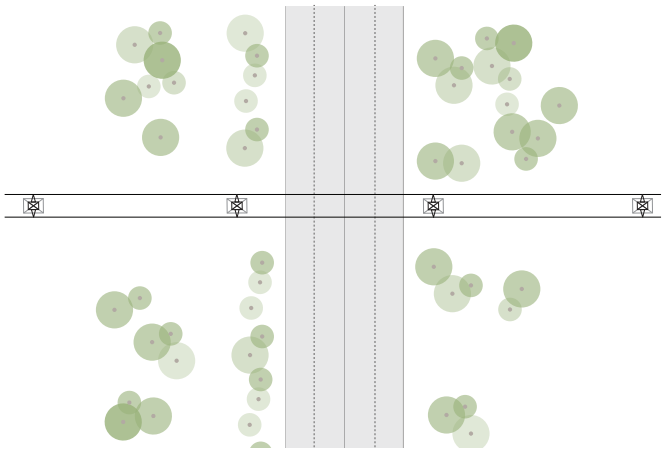


\- *Masten zijn zichtbaar vanuit de snelweg*

\+ *Opgaande beplanting langsheen de snelweg*



\- *Diagonal op de lengterichting van de infrastructuur*



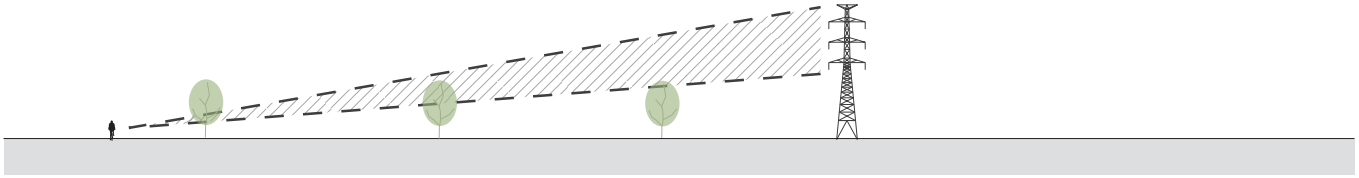
\+ *Loodrecht op de lengterichting van de infrastructuur*

4.4. Verhullen op lijnniveau

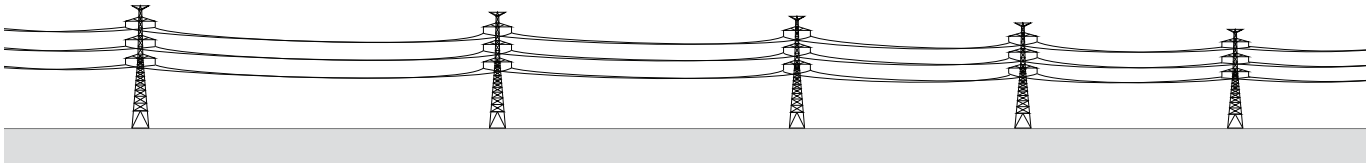
4.4.1. Visuele aspecten op een afstand tussen 350 en 700 meter

Bij een visuele benadering op middelgrote afstand dient eveneens de kop van de mast vanuit de beleving van de waarnemer te worden gecamoufleerd. Dit betekent dat de afstand tussen de beplanting en de waarnemer zodanig is dat het bovenste gedeelte van de mast niet zichtbaar is vanop ooghoogte.

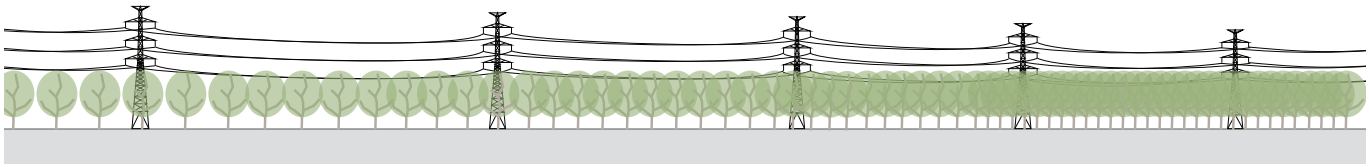
Bij het inplanten van bomen op grotere afstanden is het van belang dat het op een grotere schaal gebeurt en met voorkeur langs wegen, waterlopen en perceelgrenzen. Afhankelijk van de afstand moet er overwogen worden waar de bomen het best aangeplant worden om de zichtlijn vanaf ooghoogte op de kop van de mast te breken.



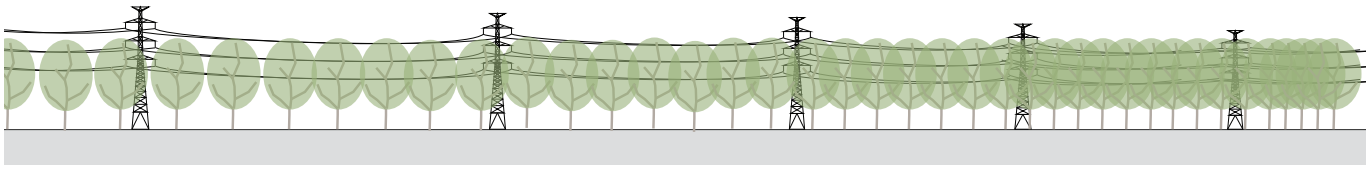
Aanplanting van bomen op verschillende afstanden



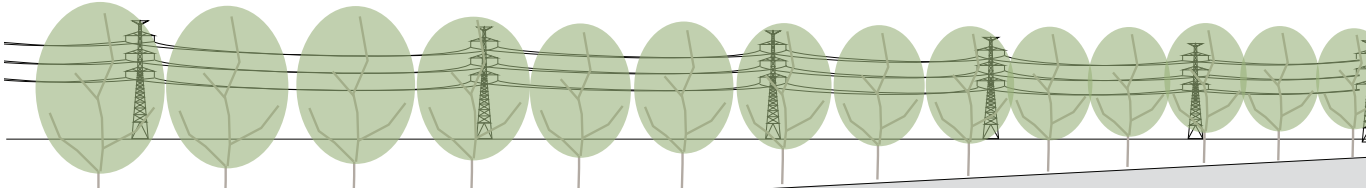
\- *Zonder aanplanting van bomen is het tracé volledig zichtbaar.*



\- *De afstand tussen boom en waarnemer is te groot, waardoor de kop van de masten zichtbaar zijn.*



\+ *De afstand is zodanig groot dat het tracé bijna volledig is gecamoufleerd, de kop van de masten zijn deels zichtbaar.*

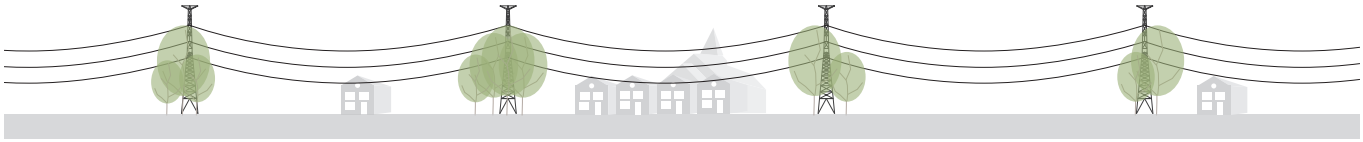


\+ *Bomen aanplanten op de juiste afstand en het tracé is volledig gecamoufleerd.*

4.4.2. Visuele aspecten in een gefragmenteerd landschap

De masten van een hoogspanningsverbinding zijn opvallende elementen in de visuele beleving van een landschap. Het aanplanten van bomen enkel en alleen rondom de masten heeft een beperkt milderend effect op de beleving aangezien het ritme van het tracé visueel waarneembaar blijft. In een ruimtelijk gefragmenteerd landschap wordt bij voorkeur boomgroepen in een onregelmatige patroon aangeplant zodat het ritme van de masten wordt gebroken.

\- *Zonder aanplanting van bomen is het tracé volledig zichtbaar.*



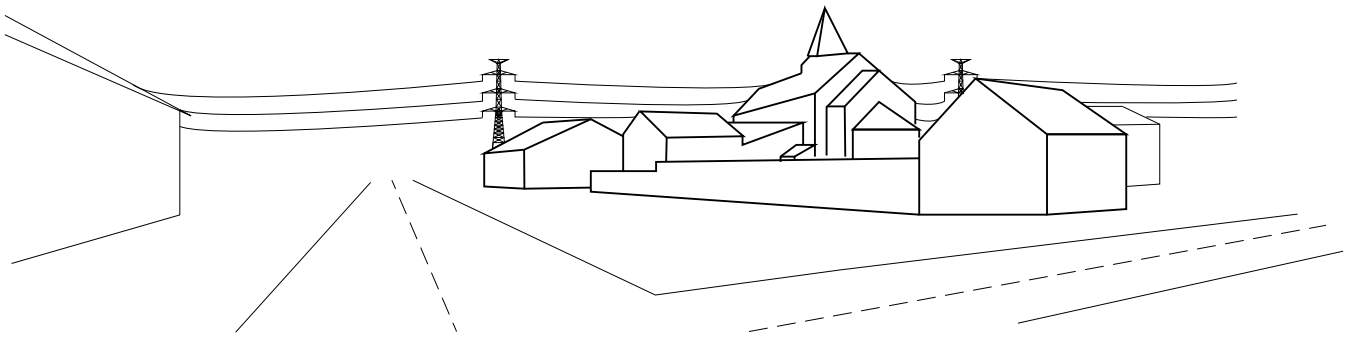
\- *Bomen aanplanten enkel rondom de masten heeft weinig zin*

\+ *Het aanplanten van onregelmatige boomgroepen*

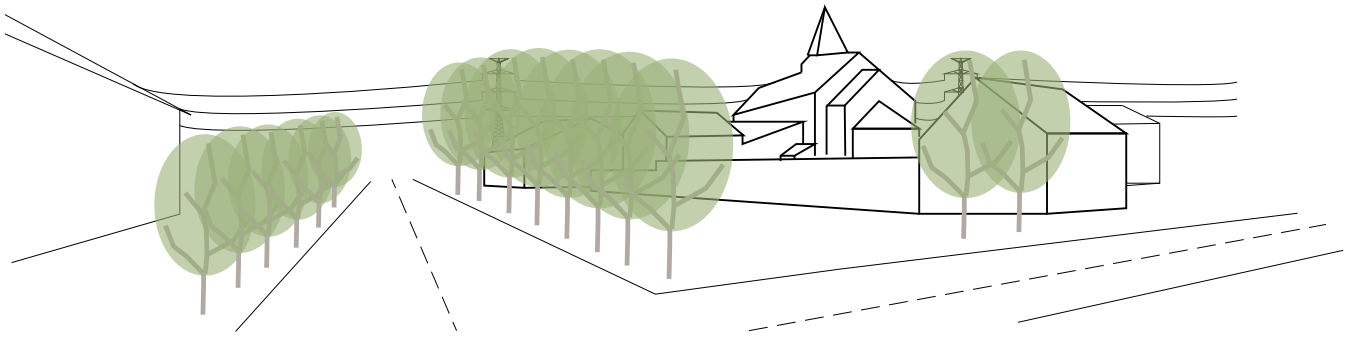
\+ *Bomen aanplanten langsheen het gehele tracé*

4.4.3. Visuele aspecten vanuit stads- en dorpsgezichten

Indien een hoogspanningsverbinding zichtbaar is vanaf een stads- of dorpsgezicht wordt dit als storende horizonvervuiling ervaren. Het gericht aanplanten van bosgroepen op welgekozen locaties kan de visuele verstoring sterk verminderen.



\- *Masten zijn zichtbaar*



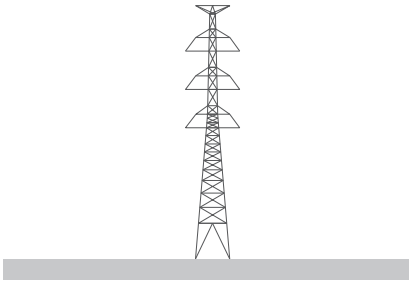
\+ *Bomen aanplanten op welgekozen locaties*

5. Objectniveau

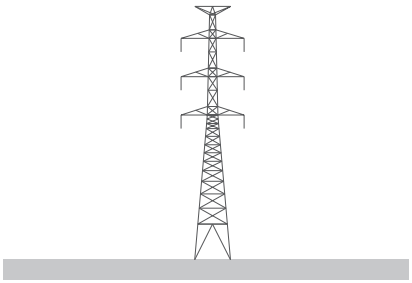
5.1. Ontwerpprincipes op objectniveau

5.1.1. Type masten

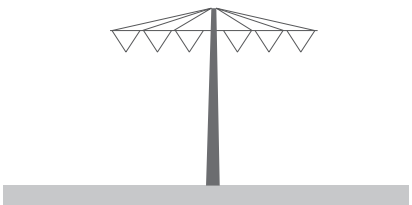
Voor een hoogspanningsverbinding zijn er verschillende soorten standaardmasten die kunnen worden ingezet. De constructiewijze kan worden ingedeeld in twee classificaties: de vakwerkmast en de buis- of kokermast. Binnen deze twee classificaties zijn er meerdere mastmodellen die wereldwijd gebruikt worden. Het uiteindelijke mastontwerp is afhankelijk van de geldende lokale normen en ruimtelijke en technische karakteristieken (bv. spanningsniveau, transportcapaciteit,…). In België zijn vooral vakwerkmasten geïnstalleerd.

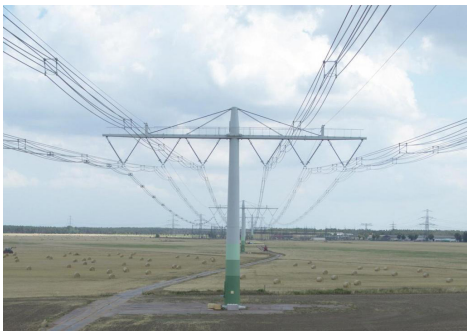


Compact mast, België

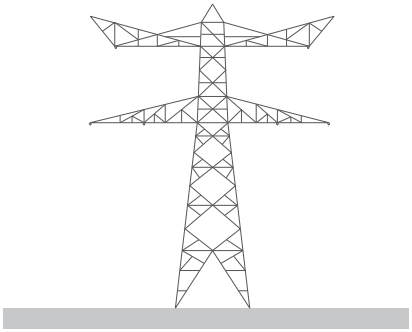


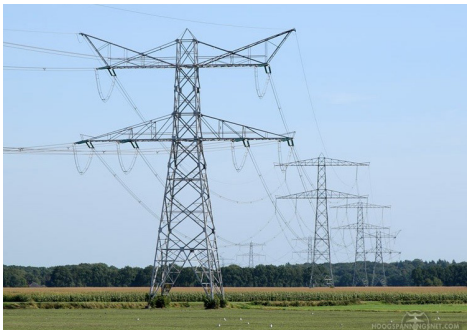
Dubbelvlagmast, België



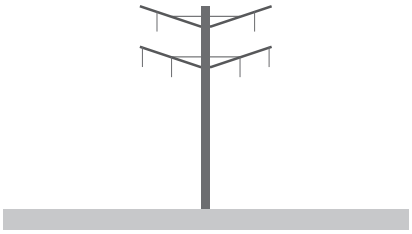


Compactline, Duitsland

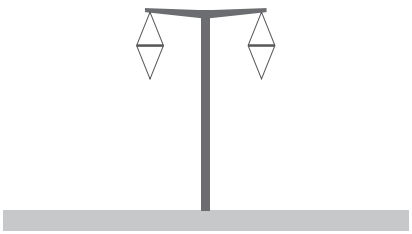




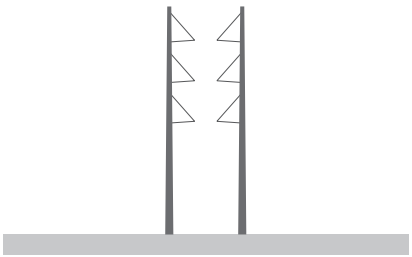
Donaumast, Duitsland



Eagle Tower, Denemarken



T-Pylon, Groot Brittannië



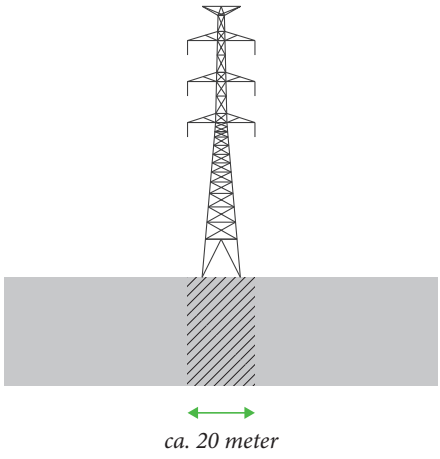
Wintrack, Nederland

5.1.2. Masthoogtes en veldlengtes

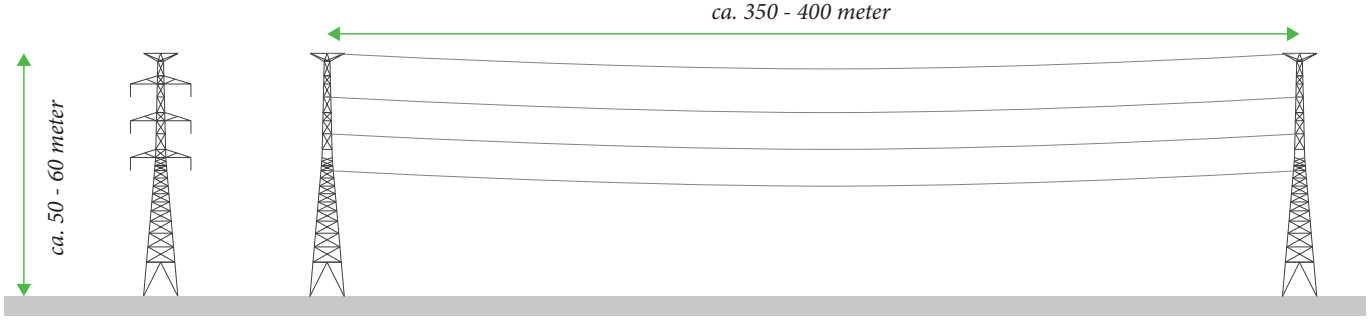
Er moet een bepaalde afstand tussen de geleiders/kabels en het maaiveld aangehouden worden. Aangezien de kabels doorhangen tussen twee masten, zal de afstand tussen de masten bepalen hoe hoog de masten moeten zijn om die afstand tot de grond te kunnen aanhouden. De gemiddelde veldlengte voor een 380kV verbinding is ongeveer 350-400 meter en de gemiddelde masthoogte is ongeveer 50-60 meter.

5.1.3. Corridors

Langs een hoogspanningsverbinding bestaat een corridor waarin beperkingen gelden. Afhankelijk van het gekozen masttype zullen de masten een welbepaalde corridorbreedte hebben. In deze corridorbreedte is bebouwing en begroeiing aan strenge regels gebonden.



Corridor van een dubbelvlagmast



Masthoogte en veldlengte van een dubbelvlagmast

5.1.4. Hoogspanningsstations

Een hoogspanningsnet bestaat in hoofdzaak uit twee onderdelen: verbindingen en stations. Een hoogspanningsstation is een knooppunt in het hoogspanningsnet waar de elektriciteit verdeeld wordt over verschillende verbindingen en waar getransformeerd kan worden tussen verschillende spanningsniveaus. De schaal, functie en locatie van de hoogspanningsstations is afhankelijk van het ontworpen tracé. Bij de inplanting van een hoogspanningsstation, zij het in een woonwijk, in een industrieel gebied of in het open landschap, is het van belang om deze ruimtelijk te integreren met zijn omgeving en om aan de architectonische vormgeving van het station aandacht te geven.

Electricity substation, Amersfoort, Nederland - UNStudio

Petrol Antwerpen, België - noArchitecten

WOS 8, Utrecht, Nederland - NL Architects

Station Stevin, Zeebrugge, België - archiles architecten

5.1.5. Mastfuncties

Bij een hoogspanningsverbinding hebben de masten verschillende functies. Afhankelijk van de functie hebben de masten een afwijkende constructie, vaak bestaande uit een zwaardere structuur. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen vijf verschillende functies:

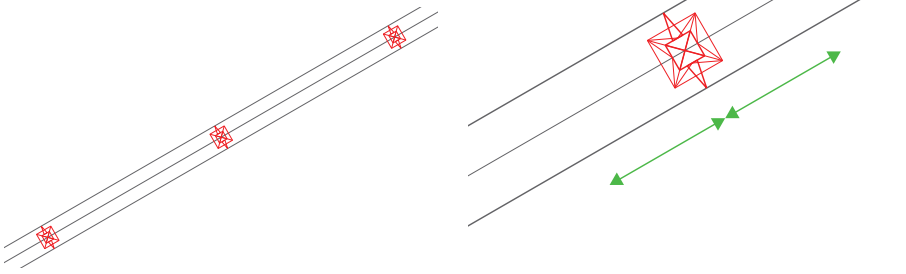
- **Lijnmast** – De lijnmast is de standaardmast in een hoogspanningsverbinding. Ze staan in een rechte rij op een bepaalde afstand van elkaar en dragen of ondersteunen de lijn.

- **Hoekmast** – De hoekmast wordt ingezet wanneer de lijn een bocht moeten maken. De lijnmast zelf voldoet niet wegens te sterke torsiekrachten. De hoekmast is een zwaarder gebouwde mast die zijdelingse krachten/momenten moet kunnen opvangen.

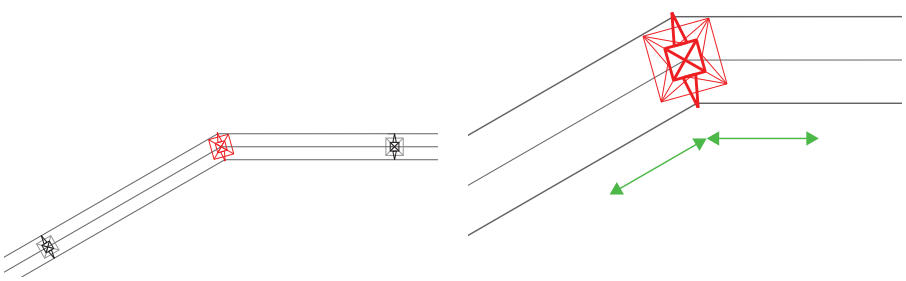
- **Stopmast** – De stopmast wordt ingezet bij lange rechte stukken en heeft als doel om een cascade-effect te voorkomen bij een omvallende mast.

- **Aftakmast** – De aftakmast wordt ingezet als een hoogspanningstracé een elektrisch verbonden aftakking heeft die een andere richting op gaat.

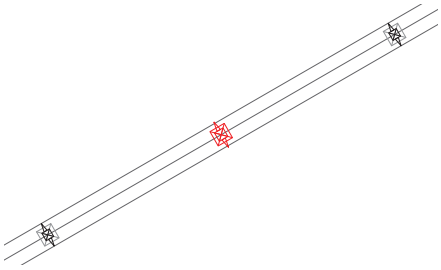
- **Eindmast** – De eindmast is een zwaarder gebouwde mast die het meest voorkomt als de laatste mast als opstijgpunt bij hoogspanningsstations en ook bij de overgang van bovengrondse en ondergrondse verbinding. Deze mast kan het onevenwicht opvangen van de kabels die maar aan één zijde toekomen.

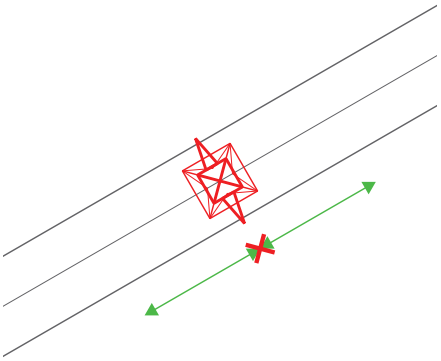


Lijnmast

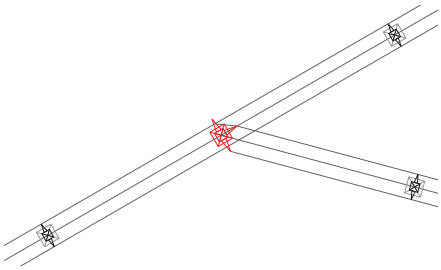


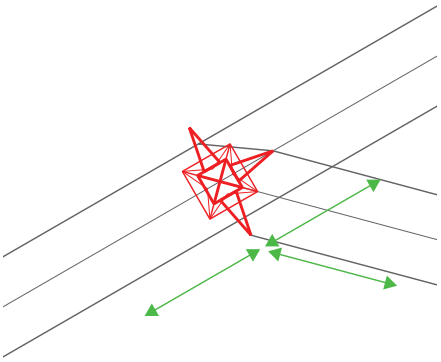
Hoekmast



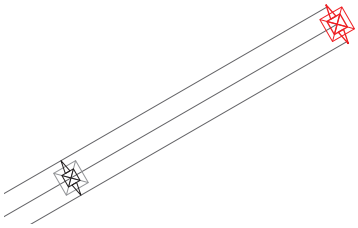


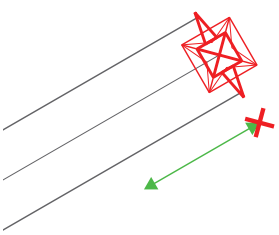
Stopmast





Aftakmast





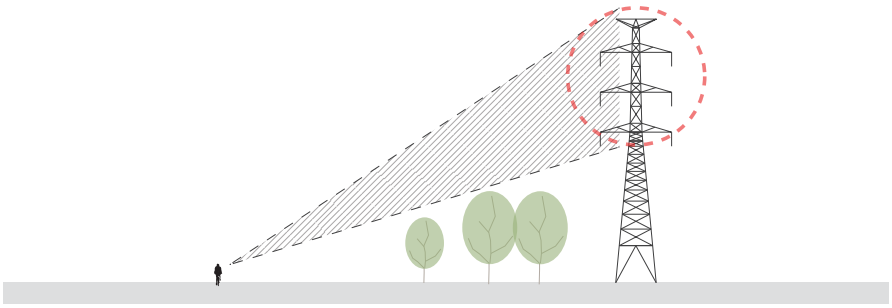
Eindmast

5.2. Verhullen op objectniveau

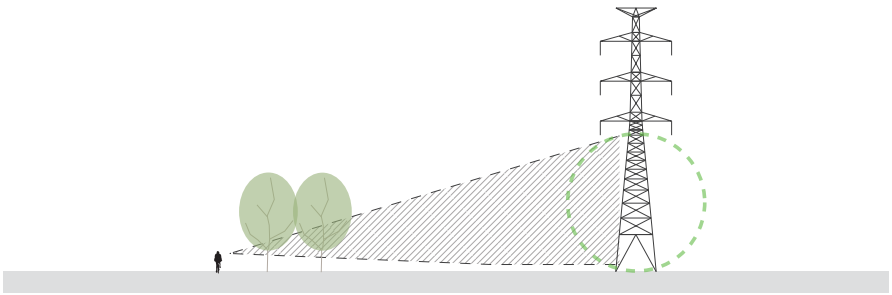
5.2.1. Visuele aspecten op een afstand tot 350 meter

Een belangrijk aspect bij de visuele benadering op korte afstand is het camoufleren van de kop van de mast. Het inplanten van bomen en kleinschalige beplanting naast de mast heeft weinig zin aangezien de beplanting nooit groot genoeg zal worden om de zichtlijn op de kop van de mast vanaf ooghoogte te breken.

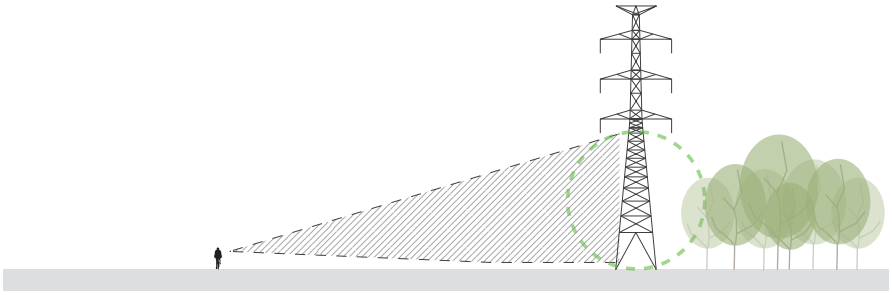
De afstand tussen de boom en de waarnemer moet zodanig klein zijn dat het bovenste gedeelte van de mast niet zichtbaar is. Een andere mogelijkheid om een mast op kortere afstand te camoufleren bestaat uit het plaatsen van bomengroepen vlak achter de mast zodat de zichtlijn vanaf ooghoogte wordt geleid naar de bomengroep en niet naar de kop van de mast.



\- *Bomen en beplanting naast de mast heeft weinig zin*



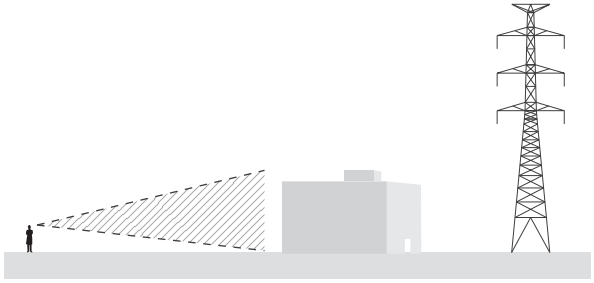
\+ *De juiste afstand tussen de boom en de waarnemer*



\+ *Het plaatsen van bomengroepen vlak achter de mast*

5.2.2. Visuele aspecten bij hoogspanningstations

Hoogspanningsstations zijn installaties die door hun specifieke schaalgrootte en functionaliteiten moeilijk landschappelijk inpasbaar zijn. Enerzijds dient aandacht te worden besteed aan de architecturale vormgeving van het gebouw zelf waarbij de eigen wetmatigheden de architecturale verschijningsvorm bepaalt. Anderzijds dient de landschappelijke inpassing van het hoogspanningsstation gericht te zijn op het milderen van de visuele hinder vanuit de onmiddellijke omgeving.



\- *Station volledig zichtbaar*

\+ *Bomen aanplanten bij de waarnemer*

\+ *Bomen aanplanten tussen de waarnemer en het station*

\+ *Bomengroepen aanplanten*

\+ *Dijken/landverhoging met beplanting*

6. Bibliografie

Digitale kaarten:

- www.geopunt.be
- www.download.vlaanderen.be

Referentiefoto's:

- www.hoogspanningsnet.com

Literatuur:

- De ontstaansgeschiedenis van de zeepolders, J. Ameryckx, 1959
- Het Landschap meervoudig bekeken, Marc Antrop, 1989
- Energy and environment, Gary O. Robinette, 1973
- Praktijkgericht onderzoek in de rumtelijke planvorming, Wim Simons en Dick van Dorp, 2014
- Landschap en hoogspanningsnet – Visie en richtlijnen voor landschappelijke inpassing, Tennet, 2017
- Infrastructuur en landschap als een teken van leven, P. Vrijlandt en K. Kerkstra, 1984
- Het hoogspanningsnet als landschappelijke ontwerpopgave, Jhon van Veelen, 2015
- De schoonheid van hoogspanningslijnen in het Hollandse landschap, A. M. Backer, 1985
- Electricity transmission line planning: Success factors for transmission system operators to reduce public opposition, Stefan Perras, 2014

Vlaanderen
is landbouw & visserij

De impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering

Op basis van een systematisch literatuurstudie en diepte-interviews

ILVO
Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

www.ilvo.vlaanderen.be

Dit is een studie uitgevoerd door EV - Instituut voor Landbouw-, visserij- en voedingsonderzoek in opdracht van Elia.

Contact

ilvo@ilvo.vlaanderen.be

Datum

08/01/2021

Auteurs

Pieter Vermeersch
Riet Desmet
Anne-Sophie Sacré
Adriaan Vanderhasselt
Anna Verhoeve
Elke Rogge
Frank Tuyttens
Simon Cool
Tommy D'Hose

Inhoud

Inhoud 3
Lijst met afkortingen 6
Hoofdstuk 1. Inleiding 7
1.1 Aanleiding 7
1.2 Onderzoeksvragen 7
1.3 Onderzoeksbenadering 8
1.4 Opbouw van het rapport 9
Hoofdstuk 2. Methodologie 10
2.1 Aanpak literatuuronderzoek 10
2.1.1 Identificeren van zoektermen 10
2.1.2 Identificeren relevante studies 10
2.1.3 Analyse van bestaande kennis. 16
2.2 Aanpak diepte-interviews 16
Hoofdstuk 3. Eigenschappen van hoogspanning 19
3.1 Fysieke aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur 19
3.2 Elektrisch en magnetisch veld rond de hoogspanningsinfrastructuur 20
3.2.1 Corona- en gapontlading 23
3.2.2 Magnetische en elektrische koppeling 23
DEEL 1: De impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering 25
Hoofdstuk 4. Effect van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies 25
4.1 Zwerfstromen in veestallen 25
4.2 Corrosie door magnetische koppeling 25
4.3 Metaalmoeheid nabij hoogspanningslijnen 26
Hoofdstuk 5. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologie 27
5.1 Effect van hoogspanningslijnen op remote sensing 29
5.1.1 Effect van hoogspanningslijnen op UAV platformen 29
5.1.2 Effect van hoogspanningslijnen op sensoren 31
5.2 Effect van hoogspanningslijnen op proximal sensing 32
5.2.1 Elektrische resistiviteitsensoren 32
5.2.2 Permittiviteitsensoren 32
5.2.3 Elektromagnetische inductiesensoren 33
5.3 Effect van hoogspanningslijnen op GNSS 33
5.3.1 Werking en nauwkeurigheid van GNSS 34
5.3.2 Effect van hoogspanningslijnen op GNSS 34
5.4 Effect van hoogspanningslijnen op sensorcommunicatie 36

5.5 Samenvattende tabel 38
Hoofdstuk 6. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op plantaardige productie 39
6.1 Teeltoppervlak, gewasproductiviteit en bodem 39
6.1.1 Aanwezigheid hoogspanningslijnen 39
6.1.2 Aanleg hoogspanningslijnen 42
6.2 Elektromagnetisch veld 48
6.3 Nuttige organismen 49
6.3.1 Ondergronds 49
6.3.2 Bovengronds 49
6.4 Pathogenen, plagen & onkruid 51
6.4.1 Plantenplagen 51
6.4.2 Onkruid 51
6.4.3 Plantenziekten 51
6.5 Bijkomstige gevolgen voor gewasproductie 52
6.5.1 Drupschade & ijsval 52
6.5.2 Botulisme door draadslachtoffers 52
6.5.3 Zinkvervuiling 53
Hoofdstuk 7. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op dierlijke productie 55
7.1 Elektrische velden 55
7.2 Elektromagnetische velden 56
7.2.1 Grote herkauwers 56
7.2.2 Pluimvee 59
7.2.3 Kleine herkauwers 61
7.2.4 Varkens 61
7.2.5 Insecten 61
7.2.6 Botulisme 61
DEEL 2: Diepte-interviews 63
Hoofdstuk 8. Resultaten diepte-interviews 63
8.1 Agrarische constructies en infrastructuur 63
8.2 Technologie 64
8.3 Bodem 64
8.4 Plantaardige productie 66
8.5 Dierlijke productie 68
8.6 Bezorgdheid over gezondheid 69
8.7 Acceptatie 69
Hoofdstuk 9. Conclusie 71

9.1 Algemene conclusie deelonderzoeken literatuurstudie....71
9.2 Integratie diepte-interviews en literatuurstudie....73
Referenties....76
Bijlage 1. Bijkomende gegevens proefopzet....1

Lijst met afkortingen

AC	Alternating current
AREI	Algemeen Reglement Elektrische Installaties
dGPS	Differentiële GPS
ELF	Extremely Low Frequency
EMC	Elektromagnetische compatibiliteit
EMF	Electromagnetic field
EMI-sensor	Elektromagnetische inductie sensor
EMV	Elektromagnetisch veld
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPR	Ground Penetrating Radar
GPS	Global Positioning System
MA	Magnetic Alignment
Pc	Precompressiestress
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
WoS	Web of Science

Hoofdstuk 1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Elia plant de aanleg van een nieuw hoogspanningstracé Ventilus in West-Vlaanderen. Om een beter inzicht te krijgen in de impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering werd door Elia in een overleg tussen Departement Omgeving, Departement Landbouw en Visserij, Boerenbond, ABS beslist om ILVO te vragen de bestaande wetenschappelijke kennis in kaart te brengen via een literatuurstudie en om bijkomend te peilen naar ervaringen van landbouwers in Vlaanderen via diepte-interviews. Vanuit Elia, Departement Omgeving, Departement Landbouw en Visserij, Boerenbond en ABS werd vervolgens ook een stuurgroep (Vlaamse Overheid, 2019) samengesteld die op tussentijdse momenten reflecteerde over de onderzoeksresultaten.

Dit rapport vormt het resultaat van dit onderzoek uitgevoerd door ILVO.

1.2 Onderzoeksvragen

Centrale onderzoeksvraag

De centrale onderzoeksvraag voor dit onderzoek werd als volgt gedefinieerd: "*Wat is de bestaande wetenschappelijke kennis over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering en welke ervaringen hebben Vlaamse landbouwers hiermee?*"

Identificatie van specifieke onderzoeksvragen:

De algemene onderzoeksvraag werd verder verfijnd tot volgende specifieke onderzoeksvragen:

Impact op agrarische constructies. Wat is de impact van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies, met name de impact van zwerfstromen in veestallen en corrosie en metaalmoeheid van constructies?

Impact op technologie. Wat is de impact van hoogspanningsinfrastructuur op precisielandbouwtoepassingen, met name op remote sensing, proximal sensing, navigatie en draadloze communicatie?

Impact op plantaardige productie

- Welke (permanente) gevolgen heeft de aanleg en aanwezigheid van hoogspanningsinfrastructuur voor het teeltoppervlak, de gewasproductie en de onderliggende bodem?
- Heeft het door de hoogspanningsinfrastructuur gecreëerde elektromagnetische veld gevolgen voor plantaardige productie?
- Wat zijn de effecten op voor gewassen nuttige organismen van hoogspanningsinfrastructuur?
- Wordt de aanwezigheid van plantenziekten, -plagen en onkruid versterkt door hoogspanningsinfrastructuur?
- Kan hoogspanningsinfrastructuur (onrechtstreeks) schade en/of verontreiniging veroorzaken bij onderliggende gewassen?

Impact op dierlijk productie

- Hebben zwerfstromen, afkomstig van hoogspanningsinfrastructuur, een effect op productie, vruchtbaarheid, gezondheid, welzijn en gedrag van landbouwhuisdieren?

- Wat is de impact van elektromagnetische velden afkomstig van hoogspanningsinfrastructuur op productie, vruchtbaarheid, gezondheid, welzijn en gedrag van landbouwhuisdieren?

Ervaring Vlaamse landbouwers. Welke ervaringen hebben Vlaamse landbouwers met impact van hoogspanningsinfrastructuur op hun landbouwbedrijf?

1.3 Onderzoeksbenadering

De impact van hoogspanningsinfrastructuur is een onderwerp van maatschappelijke debat en discussie. Zo werden reeds verschillende bezorgdheden geuit over de mogelijke impact op de landbouwbedrijfsvoering. Als (onderzoekers van het) ILVO willen wij met dit rapport een bijdrage leveren aan dit debat door de bestaande wetenschappelijke kennis over dit thema samen te brengen en ook ervaringen te verzamelen van Vlaamse landbouwers actief in de nabijheid van hoogspanningsinfrastructuur.

Onderdeel van de wetenschappelijke benadering van een literatuurstudie, is het maken van keuzes om bepaalde studies wel of niet mee te nemen. In deze studie werd het maken van deze keuzes in eerste instantie bepaald door volgende elementen vooropgesteld:

- De kwaliteit van de bronnen, waarbij geopteerd is om wetenschappelijk hoogstaande bronnen te gebruiken. De centrale databank van wetenschappelijke studies, Web of Science, werd daarom als centrale databron gebruikt. Deze databank bevat enkel wetenschappelijke publicaties die een strenge kwaliteitsbewaking hebben doorstaan.
- De overeenkomst binnen de studies van de technische infrastructuurspecificatie met het gepland Ventilus infrastructuur. In hoofdzaak wil dit rapport een overzicht bieden van de bestaande kennis over de impact van hetzelfde type hoogspanningsinfrastructuur zoals datgene van het geplande Ventilus-tracé. Dit vertaalde zich in de opname van studies met een proefopzet met wisselstroom en een magnetisch veldsterkte kleiner of gelijk aan 100μT.

De toepassing van deze 2 criteria resulteerde slechts in een relatief beperkte hoeveelheid literatuur (zie ook Hoofdstuk 2). Op vandaag blijken weinig wetenschappelijke studies op het Web of Science beschikbaar die de impact van het type hoogspanningsinfrastructuur zoals het geplande Ventilus-tracé beschrijven.

Op zoek naar bijkomende informatie werden in tweede instantie ook de inzichten mee genomen van twee types secundaire bronnen.

- Enerzijds werden ook wetenschappelijke artikels geraadpleegd die de impact beschrijven van een andere type hoogspanningsinfrastructuur (bijvoorbeeld andere sterkte van het magnetisch veld). Doorheen dit rapport wordt telkens een duidelijke vermelding gemaakt wanneer de beschreven impact gelinkt is aan een ander type hoogspanningsinfrastructuur.
- Anderzijds werden ook wetenschappelijke studies gebruikt die niet op de Web of Science gepubliceerd zijn, de zogenaamde grijze literatuur gebruikt. De auteurs van dit rapport beoordeelden de wetenschappelijke kwaliteit van elke bron uit de grijze literatuur. Enkel die bronnen met een hoogstaande wetenschappelijke kwaliteit (o.a. kwaliteit van de proefopzet, betrouwbaar controleerbaar) werden meegenomen. Wanneer in dit rapport inzichten steunen op grijze literatuur wordt hiervan ook telkens een vermelding gemaakt.

Zelfs mits deze uitbreiding van de literatuurstudie blijven nog, net zoals over vele andere maatschappelijke thema's, onzekerheden bestaan. Zo zijn sommige zaken niet of slechts gedeeltelijk onderzocht, en is het dus niet mogelijk om nu te stellen of er al dan niet een impact is. Ook al is

de wetenschappelijke kennis onvolledig, toch biedt deze op vandaag voor verschillende thema's al onderbouwde inzichten aan. Doorheen het rapport wordt daarom voor de verschillende deelthema's telkens een wetenschappelijke inschatting gemaakt van de zekerheid, dan wel onzekerheden. Dit om een zo duidelijk mogelijk beeld te geven hoever de huidige wetenschappelijke kennis op vandaag reikt met betrekking tot de impact van hoogspanningsinfrastructuur.

1.4 Opbouw van het rapport

De gebruikte methodologie wordt beschreven in *Hoofdstuk 2: Methodologie*. In het daaropvolgende *Hoofdstuk 3: Eigenschappen van Hoogspanning* worden de technische aspecten van de hoogspanningsinfrastructuur van het geplande Ventilus-project gespecifieerd. Het is belangrijk de technische eigenschappen van het geplande Ventilus tracé scherp te stellen aangezien hoogspanningsinfrastructuur in vele verschillende vormen voorkomt. In *Hoofdstuk 4 tot en met Hoofdstuk 8* wordt omschreven wat het effect is van hoogspanningslijnen op de agrarische bedrijfsvoering (DEEL 1) en wat de bezorgdheden en ervaringen zijn van landbouwers in de nabijheid van hoogspanningsinfrastructuur (DEEL 2). In *Hoofdstuk 9: Conclusie* worden de belangrijkste thema's uit beide onderzoeken met elkaar gelinkt om zo aandachtspunten te formuleren waar rekening mee gehouden kan worden in de verdere ontwikkeling van het Ventilus-project.

Hoofdstuk 2. Methodologie

Voor deze studie werd gebruik gemaakt van 2 verschillende methodes, enerzijds een literatuuronderzoek voor het verkrijgen van een overzicht van de bestaande wetenschappelijke kennis over het effect van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering (Deel 1) en anderzijds een kwalitatieve onderzoekaanpak met diepte-interviews om bijkomende inzichten te verkrijgen m.b.t. de ervaringen van Vlaamse landbouwers die nu reeds wonen en werken nabij hoogspanningsinfrastructuur (Deel 2). Van beide delen wordt in onderstaande paragrafen de aanpak beschreven.

2.1 Aanpak literatuuronderzoek

De opmaak van het overzicht van de bestaande wetenschappelijke kennis is gebaseerd op de methode van een systematische literatuurstudie, zoals beschreven door Snyder (2019). Ze beschrijft dat je op die manier relevant onderzoek kan identificeren en kritisch beoordelen, alsook gegevens verzamelen en analyseren uit die onderzoeken. Het doel van een systematisch literatuuronderzoek is om alle empirische data te verzamelen die voldoen aan de op voorhand geselecteerde voorwaarden om een bepaalde hypothese of onderzoeksvraag te beantwoorden. Door een systematische methode te hanteren, worden vooroordelen geminimaliseerd waardoor betrouwbare bevindingen worden verkregen.
Het proces bestond uit 3 stappen: (1) Identificeren van zoektermen; (2) Verzamelen relevante studies en (3) Literatuuranalyse

2.1.1 Identificeren van zoektermen

Op basis van de onderzoeksvraag werden algemene zoektermen geïdentificeerd die verband houden met (elektro)magnetische velden en hoogspanning. Deze werden in het Engels gedefinieerd, de taal van de meeste wetenschappelijke bronnen.

De algemene zoektermen “hoogspanning en elektromagnetische velden” leiden tot de basis zoektermen [”magnetic field*” OR ”electric field*” OR ”extremely low frequency” OR “ELF” OR “EMF” OR ”electromagnetic field*” OR ”high voltage” OR ”powerline”] die de basis voor de gehele literatuurstudie vormen. Verder werden per onderdeel nog specifieke zoektermen bepaald aan de hand van kernwoorden en synoniemen gebruikt in relevante publicaties (Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3).

2.1.2 Identificeren relevante studies

De zoektermen werden ingezet in verschillende databases. De wetenschappelijke database Web of Science (WoS), die alle peer-reviewed wetenschappelijke papers bevat, werd als centrale database gebruikt. Verder werd bijkomend gezocht naar relevante grijze literatuur ook in het Nederlands en Frans via Google Scholar, en in andere wetenschappelijke bibliotheken. De gebruikte bronnen van de grijze literatuur worden verder beschreven per onderdeel.

Het voorkomen van de basis zoektermen [“magnetic field*” OR ”electric field*” OR ”extremely low frequency” OR “ELF” OR “EMF” OR ”electromagnetic field*” OR ”high voltage” OR ”powerline”] in de titel zorgde voor een eerste selectie [191.144 totale hits] in WoS.

Per onderdeel werden specifieke zoektermen gedefinieerd. Deze zoekopdracht werd uitgevoerd binnen de gevonden artikels (191.144) van de basis zoektermen. Gezien de eerder beperkte hoeveelheid aan artikels bij alle onderdelen, werden alle jaartallen van publicatie meegenomen. Duplicaten werden uiteraard verwijderd.

Na de zoekopdracht met specifieke zoektermen werd een eerste selectie uitgevoerd op basis van de titel van het artikel. Binnen de weerhouden selectie werd de verdere relevantie van een artikel bepaald door de abstract te lezen. Na het lezen van in totaal 733 abstracts werd geoordeeld dat 167 artikels relevant onderzoek bevatten. Na het lezen van de volledige artikels werden 73 artikels weerhouden. Deze vormden de uiteindelijke basis van deze literatuurstudie. Al deze relevant geachte artikels werden vervolgens samengevoegd in Mendeley, een programma voor het bijhouden van artikels en invoegen van referenties.

De resultaten van deze zoekactie naar relevante literatuur worden voor de verschillende deelstudies weergegeven in Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3. Deze tabellen geven ook een verfijnd overzicht van de resultaten van verschillende combinaties met extra zoektermen. Daarbij wordt telkens weergegeven hoeveel artikels gevonden werden, hoeveel abstracts gelezen werden en hoeveel artikels uiteindelijk weerhouden werden.

De zoekopdracht voor de wetenschappelijke literatuur werd gefinaliseerd op 1 juni 2020.

2.1.2.1 Relevante literatuur over impact van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies en technologie

Op basis van volgende zoekfunctie werd relevante literatuur verzameld over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies en technologie gehanteerd binnen de landbouwproductie.

> *TITLE: ("magnetic field*" OR "electric field*" OR "extremely low frequency" OR "ELF" OR "EMF" OR "electromagnetic field*" OR "high voltage" OR "powerline" OR "transmission line*"* ***OR "alternating current" OR "AC" OR "electromagnetic interference" OR "electromagnetic compatibility"****)*

In dit onderdeel werd de basis zoekopdracht verruimd (vet gedrukt). Op basis van deze zoekfunctie werden in totaal 210.155 artikels gevonden. Naast de basis set van deze algemene zoektermen, werden nog specifieke zoektermen toegevoegd om het aantal hits verder te vernauwen, en aldus bronnen van meer specifieke en relevante kennis te kunnen verzamelen.

Tabel 1. Overzicht zoekopdracht WoS Impact op technologie

Specifieke zoektermen, binnen zoekopdracht basis termen	Aantal hits zoekopdracht	Selectie na lezen titel	Selectie na lezen abstract	Aantal weerhouden artikel
Op basis van enkel basis termen	210.155			
"precision agriculture" OR "smart farm*" OR "precision farm*"	4	0	0	0
"UAV*" OR "unmanned aerial vehicle*" OR "drone*"	205	32	15	0
"EM38" OR "dualem" OR "EMI sensor" OR "electromagnetic induction sensor"	2	2	1	1

"GPR" OR "ground penetrating radar" OR "FDR" OR "TDR" OR "capacitance sensor" OR "time-domain reflectometry" OR "frequency-domain reflectometry"	190	11	2	0
"remote sens*" OR "sensor*" AND "power*line*" OR "transmission line*" AND "interference"	35	4	2	2
"GNSS" OR "GPS" OR "GALILEO" OR "GLONASS" OR "dGPS" OR "RTK" AND ("interference") AND ("transmission line*" OR "power *line*")	136	5	2	0
"wireless communication" OR "sensor communication" AND "interference"	134	15	1	1
"tractor*" AND "sprayer" AND "vehicle*"	108	12	4	2
"stray current" OR "stray voltage" OR "stray field*"	191	1	0	0
"building" AND "ground*"	46	2	0	0
"AC corrosion" OR "stray current corrosion" OR "induced field corrosion" OR "Fradaic rectification corrosion"	126	21	4	3
"fatigue" AND "metal"	32	3	0	0
"farm*" NOT "wind" NOT "solar"	76	1	0	0
TOTAAL	1.285	106	34	9

Bij de selectie op titel werd gekeken of het artikel relevant was voor deze studie. Vaak gingen artikels over iets anders. Voorbeeld: bij drones waren redelijk wat artikels te vinden over inspectie met details over specifieke sensoren. Dan werd een specifieke case beschreven die niet gelinkt kon worden aan het Ventilus-project. Dit soort artikels werden niet weerhouden.

Uiteindelijk werden 9 artikels weerhouden uit WoS als relevant voor deze studie (Tabel 1).

Voor zoektermen waar geen of slechts heel weinig relevante publicaties te vinden waren op WoS, werd bijkomend gezocht naar theoretische informatie over de technologie zelf (niet verband houdend met hoogspanning of elektromagnetische velden) in grijze literatuur zoals boeken en gespecialiseerde websites over de technologie.

Zo werden 29 extra bronnen geraadpleegd uit de grijze literatuur. Hiervan werden 3 bronnen, gepubliceerd door onderzoeksinstellingen in buurlanden, gebruikt voor het beschrijven van de

impact van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies en technologie (Agro Consultancy, 2016; ANSES, 2015; van Reeuwijk et al., 2011). De overige 26 bronnen uit grijze literatuur werden gebruikt voor het beschrijven van de eigenschappen van technologieën en fysische processen en voor het staven van wetgeving. Uiteindelijk werden 38 artikels weerhouden als relevant voor deze studie.

Voor informatie rond signaalinterferentie en elektromagnetische compatibiliteit (EMC) werden daarnaast ook nog Prof. Wout Joseph (UGent) en Prof. Jos Knockaert (UGent) geraadpleegd. Via hun consultatie werd bijkomende informatie (mondelinge info) verzameld over de werking van deze fenomenen. Daarnaast werd via deze weg ook inzicht verkregen over hoe o.b.v. de werking van een bepaalde technologie afgeleid kan worden wanneer problemen met signaalinterferentie en EMC zouden kunnen optreden. Voor informatie over dronevluchten, corrosie, de EMI-sensor en navigatiesystemen op tractoren nabij hoogspanningslijnen werden daarnaast ook nog volgende experten gecontacteerd: Didex en Maxicon (drones), Agoria (corrosie), Dualem (EMI-sensor) en New Holland en John Deere (navigatiesystemen). Tenslotte werd ook nog informatie over EMV rond hoogspanningslijnen, verkregen via Elia, toegevoegd aan deze analyse.

2.1.2.2 Relevante literatuur over impact van hoogspanningsinfrastructuur op plantaardige productie

Op basis van volgende zoekfuncties werd relevante literatuur verzameld over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op plantaardige productie gehanteerd binnen de landbouwproductie.

> *Zoekfunctie 1 : TITLE: ("power line*" OR "powerline*" OR "transmission line*" OR "power cable*" OR "pylon*")*
> *Zoekfunctie 2 : TITLE: ("avian botulism")*
> *Zoekfunctie 3: TITLE: ("pipe line*" OR "pipeline*" OR "power cable*")*
> *Zoekfunctie 4: TITLE: ("power line*" OR "powerline*" OR "transmission line*" OR "power cable*" OR "pylon*" OR "magnetic field*" OR "electric field*" OR "EMF" OR "electromagnetic field*" OR "high voltage")*

Op basis van deze zoekfunctie werden in totaal 80.171 basisartikels gevonden. Naast de basis set van deze algemene sleutelwoorden, werden nog specifieke sleutelwoorden toegevoegd om het aantal hits verder te vernauwen, en aldus bronnen van meer specifieke en relevante kennis te kunnen verzamelen.

Tabel 2. Overzicht zoekopdracht WoS impact op plantaardige productie

Basis zoekfunctie	Specifieke zoektermen, binnen zoekopdracht basis termen	Aantal hits zoekopdracht	Selectie na lezen titel	Selectie na lezen abstract	Aantal weerhouden artikel
TOTAAL	80.171				
Zoekfunctie 1 : TITLE: ("power line*" OR "powerline*" OR "transmission line*" OR "power cable*" OR "pylon*")	cultivation area	1	1	1	0
	irrigation	13	5	3	1
	landscape	101	32	7	3
	crop production	8	5	5	2
	soil heating	63	17	4	0
	ice	15	0	0	0
	drip	0	0	0	0
	zinc	54	11	5	2
	soil structure	51	2	0	0

	soil compaction	2	0	0	0
	construction	826	17	1	0
	botulism	0	0	0	0
Zoekfunctie 2 : TITLE: ("avian botulism")	-	54	20	5	3
Zoekfunctie 3: TITLE: ("pipe line*" OR "pipeline*" OR "power cable*")	construction	1819	12	0	0
	installation	1135	25	0	0
	soil structure	297	0	0	0
	soil compaction	25	11	5	3
-	construction machinery soil compaction	3	3	3	1
-	soil compaction persistence	5	2	1	1
-	soil compaction remediation	3	2	0	0
-	soil compaction alleviation	4	3	0	0
TITLE: ("power line*" OR "powerline*" OR "transmission line*" OR "power cable*" OR "pylon*" OR "magnetic field*" OR "electric field*" OR "EMF" OR "electromagnetic field*" OR "high voltage")	crop*	112	31	2	1
	plant*	2133	47	11	3
	maize	59	11	0	0
	corn	76	15	1	1
	wheat	141	28	2	1
	potato*	118	43	0	0
	sugar beet*	58	7	0	0
	vegetable*	154	32	0	0
	insect*	125	27	8	4
	invertebrate*	40	7	3	2
	arthropod*	14	3	0	0
	weed*	20	5	0	0
	plant disease*	20	2	0	0
TOTAAL		7.549	426	67	28

Op basis van volgende parameters werd de relevantie voor het Ventilus-project bepaald: hoogspanningslijn (bovengronds/ondergronds), wisselstroom, link met landbouw. Daarnaast werd gekeken of er een link kon gelegd worden met de landbouw in West Vlaanderen (klimaat, experiment in de streek). Er werd ook een grenswaarde van 100μT gehanteerd om de studie al dan niet verder te bekijken. Om de kwaliteit van de proef te bepalen werd gekeken naar het aantal herhalingen, proefopzet, grootte van de stalen (vb. bij gewassen: hoeveel/welk oppervlakte geoogst), spreiding van de stalen en relevantie van meettechnieken. Vaak werden artikels gevonden die "behandelingen" bespreken om zaden te steriliseren. Dit valt niet onder de scope van dit onderzoek, dus dit soort artikels werd niet meegenomen.

Uiteindelijk werden 28 artikels weerhouden uit WoS als relevant voor deze studie (Tabel 2).

Een deel van de grijze literatuur was beschikbaar bij aanvang van de systematische literatuurstudie. Een vertaling van een ongepubliceerde Duitse studie over de impact van ondergrondse verbindingen (Truby, 2018) werd aangeleverd door Elia en twee Nederlandse literatuurstudies over bovengrondse hoogspanningslijnen (Agro Consultancy, 2016; van Reeuwijk et al., 2011) werden aangeleverd via collega's van het ILVO. Voor de onderdelen *6.3 Nuttige organismen* en *6.4 Pathogenen, plagen & onkruid* werd de wetenschappelijke literatuur aangevuld met informatie beschikbaar in eerdere literatuurstudies van ILVO. Deze werden gevonden via het interne onderzoeksportaal (Pure) van ILVO.

Nog 55 extra bronnen werden geraadpleegd uit de grijze literatuur. Uiteindelijk werden 83 artikels weerhouden als relevant voor deze studie.

2.1.2.3 Relevante literatuur over impact van hoogspanningsinfrastructuur op dierlijk productie

Op basis van volgende basis zoekfuncties werd relevante literatuur verzameld over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op dierlijke productie gehanteerd binnen de landbouwproductie.

TITLE ("magnetic field" OR "electric field*" OR "extremely low frequency" OR "ELF" OR "EMF" OR "electromagnetic field*" OR "high voltage" OR "powerline")*

Na finalisatie van deze zoekopdracht werden 191.144 artikels gevonden. Specifieke zoektermen werden gedefinieerd per diersoort, om het aantal hits verder te vernauwen (Tabel 3).

Tabel 3. Overzicht zoekopdracht WoS Impact op dier

Specifieke zoektermen, binnen zoekopdracht basis termen	Aantal hits zoekopdracht	Selectie na lezen titel	Selectie na lezen abstract	Aantal weerhouden artikel
cow* or cattle or calve* or calf*	164	81	32	20
sheep or goat	29	11	5	3
poultry or chick* or turkey or hen or broiler	448	57	23	11
pig* or swine or boar or sow	533	52	6	1
TOTAAL	1.174	201	66	35

Verder werd geselecteerd op titel. Vaak ging de publicatie niet over hoogspanning, of ging het over dieren ander dan landbouwhuisdieren (vb. ratten, muizen en cavia's). Ook werden publicaties met een magnetisch veld hoger dan 100µT niet meegenomen en ook de studies die over gelijkstroom gingen werden verwijderd. Bijlage 1 geeft een gedetailleerde weergave weer van de proefopzet van de weerhouden artikels.

Uiteindelijk werden 35 artikels weerhouden uit WoS als relevant voor deze studie (Tabel 3).

Naast de WoS wetenschappelijke literatuur werd een overheidsdocument uit Frankrijk en volgende 2 websites gebruikt als grijze bron: gpse.fr en rundveeloket.be.

Nog 3 extra bronnen werden geraadpleegd uit de grijze literatuur. Uiteindelijk werden 38 artikels weerhouden als relevant voor deze studie.

2.1.3 Analyse van bestaande kennis.

Alle 159 artikels die relevant geacht onderzoek bevatten werden vervolgens aan een uitgebreide analyse onderworpen. Elk onderdeel werd nog eens verdeeld in subthema's. Per subthema werd de beschikbare kennis beschreven en geanalyseerd in de 'Discussie en conclusie'. De belangrijkste conclusies worden opgelijst op het einde. Daarnaast wordt ook aangegeven hoe verschillende onderzoeksresultaten zich tot elkaar verhouden, en waar kennis uitgebreid of eerder beperkt is.

2.2 Aanpak diepte-interviews

Naast de literatuurstudie werden 13 interviews uitgevoerd, op zoek naar bijkomende informatie over de ervaringen van Vlaamse landbouwers met impact van hoogspanningsinfrastructuur op hun landbouwbedrijf. Dit deelonderzoek werd opgezet in lijn met onderzoeksstappen van kwalitatief onderzoek (Evers, 2015; Mortelmans, 2013).

Als voorbereiding op de interviews werd vertrokken van een lijst van bezorgdheden overhandigd door het planteam, verantwoordelijk voor het planproces Ventilus (Vlaamse Overheid, 2019), op basis van de bezorgdheden geformuleerd door landbouwers tijdens de publieke raadpleging van het Ventilus-project. Hieruit werden thema's geïdentificeerd die in elk gesprek ter sprake werden gebracht. De thema's waren: plantaardige productie en bodem, dierlijke productie, agrarische constructies en infrastructuur, technologie, en gezondheid van de bewoners en werkers op de boerderij. Er werd een open gesprek gehouden waarin werd gevraagd naar de ervaring van de landbouwer, erop lettend dat de bovengenoemde thema's aan bod kwamen.

Het doel was om landbouwers te interviewen die in hun bedrijfsvoering representatief zijn voor de verwachte situatie van het Ventilus-project. De landbouwers die een bedrijf hebben waarop een hoogspanningsinfrastructuur aanwezig is, werden geselecteerd door het ILVO op basis van lijsten die ze van de stuurgroepleden hebben ontvangen. Om deze lijsten te kunnen opmaken heeft Elia een overzicht van de bestaande locaties van de hoogspanningsinfrastructuur bezorgd aan de landbouwfederaties met de vraag een aantal namen van landbouwers aan het ILVO te bezorgen. Boerenbond heeft een lijst van landbouwers bezorgd. Ook Elia bezorgde een lijst van landbouwers waarmee in het verleden gesprek was geweest. Dit werd aangevuld met doorverwijzingen door gecontacteerde landbouwers en met landbouwers die ILVO spontaan contacteerden. Een verdere selectie gebeurde daarom op basis van het type hoogspanningsinfrastructuur gelijkaardig aan het Ventilus-project, wat overeenkomt met 150kV of meer bovengronds of 220kV of meer ondergronds.

Verder werd actief getracht om respondenten te selecteren die qua bodem- en bedrijfstype vergelijkbaar zijn met landbouwers onder het Ventilus-project. Daarvoor werd een analyse en vergelijking gemaakt van de aanwezige bodem- en landbouwtypes van het Ventilus-project en de groep geïdentificeerde landbouwers. In de startnota van het Ventilus-project wordt beschreven dat men van plan is een ondergrondse kabel te trekken door de polder en een bovengrondse lijn in de zandstreek. Respondenten uit beide bodemstreken werden dan ook geselecteerd.
Uit de analyse van de bedrijfstypes blijkt dat vooral akkerbouwbedrijven en rundveebedrijven te maken zullen hebben met het Ventilus-project. Deze bedrijfstypes werden dan ook opgenomen in de selectie van respondenten.

Binnen de studie werden 11 actieve landbouwers geïnterviewd en 2 grondeigenaren, 1 met paarden en 1 met paarden en met landbouwactiviteiten, die verder in dit rapport de respondenten genoemd worden.

Tabel 4 geeft het aantal respondenten per karakteristiek weer.

Tabel 4: Overzicht karakteristieken respondenten

Karakteristieken		Aantal
Totaal aantal respondenten		13
Contact	Elia	7
	Boerenbond	2
	Via landbouwers Boerenbond	2
	Op eigen initiatief contact opgenomen	2
Bodemstreek	Zandstreek	9
	Overgang zandstreek met kustpolder	3
	Kustpolder	1
Bedrijfstype	Akkerbouw	1
	Veeteelt	5
	Paardenhouder	2
	Serreteelt	3
	Gemengd	2
Teelt	Akker	4
	Weide	4
	Serre	3
	Gemengd	2
Positie lijn	Over hoeve	5
	Over weide of akker	8
Hoogspanningsinfrastructuur	Ondergrondse kabel 380kV	2
	Bovengrondse lijn 380kV	6
	Bovengrondse lijn 150kV	1
	Gemengd	4

De respondenten werden opgebeld, de onderzoeker stelde zichzelf en het onderzoek voor en vermeldde via welke contactpersoon de gegevens van de respondent verkregen waren. Uit deze telefonische contacten bleek meteen een grote bereidheid bij de gecontacteerde landbouwers om deel te nemen aan het onderzoek. Nadat de respondent zei dat hij/zij wou deelnemen, werd een afspraak gemaakt en werd hen gevraagd als voorbereiding om al eens na te denken over hun ervaringen met de hoogspanningsinfrastructuur.
Tijdens de interviews werd op een bepaald moment gesuggereerd dat respondenten niet in alle openheid informatie konden delen over de ervaren impact van hoogspanningsinfrastructuur op hun bedrijfsvoering. Referentie werd gemaakt naar een vertrouwelijkheidsclausule in overeenkomsten afgesloten met Elia. Na een terugkoppeling hiervan aan Elia, werd door Elia een brief opgesteld waarin de garantie geboden werd dat het meewerken aan het onderzoek geen enkel gevolg kon hebben voor de deelnemende respondent. Met deze brief werd vervolgens door de onderzoekers opnieuw naar de betrokken respondenten gestapt. Deze brief bleek een verduidelijking te bieden. Vervolgens hadden de onderzoekers de indruk dat alle respondenten in volle openheid aan het onderzoek meewerkten. Dit leverde bij één landbouwer bijkomende informatie op.

De eerste drie interviews werden omwille van de corona-crisis telefonisch gedaan. De andere negen werden op vraag van de respondent ter plaatse afgenomen. Er werd geen verschil in kwaliteit vastgesteld tussen deze methoden van afname. Het onderzoek werd nogmaals voorgesteld, de geïnformeerde toestemming werd overlopen en er werd gevraagd om deze te ondertekenen, telefonisch werden deze dan digitaal doorgestuurd.

De audiofiles werden vervolgens in een beveiligde map bewaard, en geanonimiseerd door middel van een code en met deze code werd de respondent in het verdere werk beschreven. De interviews werden volledig uitgeschreven en vervolgens geanalyseerd in NVivo (Licentie van NVivo 12 Plus GSR International Pty Ltd). De analyse bestond eruit om in de interviews op zoek te gaan naar fragmenten die iets vertelden over de ervaring van de respondent met de hoogspanningsinfrastructuur. Deze fragmenten werden vervolgens geordend onder verschillende thema's. Daarna werden de thema's onderling gestructureerd volgens overeenkomsten en linken met als doel een antwoord te bieden op de onderzoeksvraag.

De resultaten van dit onderzoek dienen gezien te worden als informatie die bijdraagt tot een beter begrip van de impact die hoogspanningsinfrastructuur kan hebben op een landbouwbedrijf in Vlaanderen. Verder worden deze inzichten geplaatst naast de beschreven impact in de literatuur, waarbij onderzocht werd hoe beiden zich tot elkaar verhouden. Uit de getuigenissen van de respondenten wordt niet alleen een beeld gevormd welke impact zij ervaren, maar ook hoe zij met de impact omgaan en hoe de samenwerking met Elia hun ervaring met de impact beïnvloedt.

Hoofdstuk 3. Eigenschappen van hoogspanning

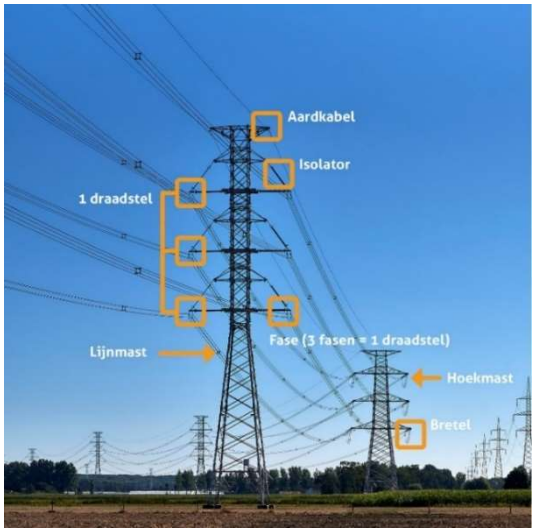
Twee aspecten van hoogspanningslijnen zijn van belang om het effect ervan op de landbouw na te gaan. De fysieke aanwezigheid van de boven- of ondergrondse hoogspanningslijn, alsook het elektromagnetisch veld dat rond deze hoogspanningslijn ontstaat, kunnen mogelijk voor problemen zorgen. In dit deel wordt het theoretische aspect van beide eigenschappen verder toegelicht.

3.1 Fysieke aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur

Het effect van de fysieke aanwezigheid van hoogspanningsinfrastructuur op de landbouw is afhankelijk van het type. Hierin kan een onderscheid worden gemaakt tussen hoogspanningslijnen (bovengronds) en hoogspanningskabels (ondergronds).

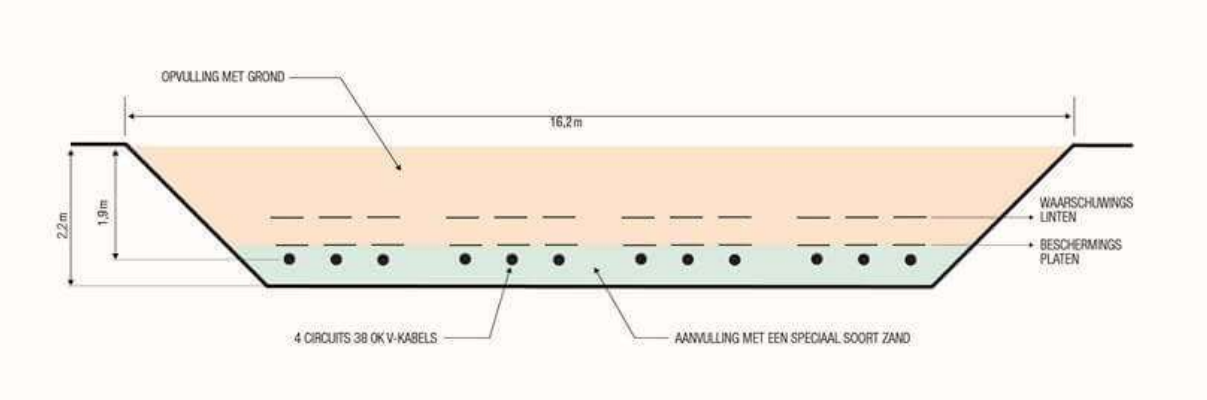
Voor een hoogspanningslijn moet het effect van de fysieke aanwezigheid in functie van een aantal factoren worden geëvalueerd. De mast en de lijnen nemen bovengrondse ruimte in, terwijl de mastvoet ervoor zorgt dat een deel van de teeltoppervlakte ingenomen wordt. Naast het masttype en het aantal draadstellen is de hoogte waarop de fasedraden en de aardkabel zich bevinden een belangrijke factor voor de inname van die bovengrondse ruimte. Het punt waarin de onderste fasedraden zich het dichtst bij het maaiveld bevinden, ligt ongeveer in het midden tussen de 2 masten. De afstand tussen de fasedraden en het maaiveld kan doorheen de tijd variëren in functie van het weer en de belasting van de lijn. Warmer weer alsook een hogere belasting zorgen immers voor sterker doorhangende fasedraden. De wettelijke minimale afstand die steeds tussen de fasedraden en het maaiveld moet worden behouden, is 10,3m. In 90% van de gevallen varieert die afstand tussen 12m (tussen de masten) en 25m (aan de mast). Een hoogspanningsmast is gemiddeld 55 à 60m hoog. Afhankelijk van de omgeving waar de hoogspanningslijn door gaat, kunnen hogere masten (in het Ventilus-project tot 80m hoog) worden geplaatst, vb. wanneer de lijn een brug overspant (pers. communicatie Elia, 16/07/2020). Het masttype beïnvloedt de oppervlakte die de mastvoet inneemt, dit wordt geschat op maximaal 200 à 250m voor het Ventilus-project (pers. communicatie Elia, 13/05/2020).

In deze studie wordt uitgegaan van een hoogspanningslijn die uit 2 draadstellen bestaat en waarvan de fasedraden zich op hun laagste punt, dus voor de onderste fasedraad in het midden van de overspanning, op 14m boven het maaiveld bevinden. Aan de mast bevinden de fasedraden zich op 25m van het maaiveld. De aardkabel, het hoogste punt van de hoogspanningslijn, hangt voor deze lijn aan de mast op 48m hoogte. Er wordt uitgegaan van een zijde van de mastvoet van ongeveer 15m (Figuur 1).

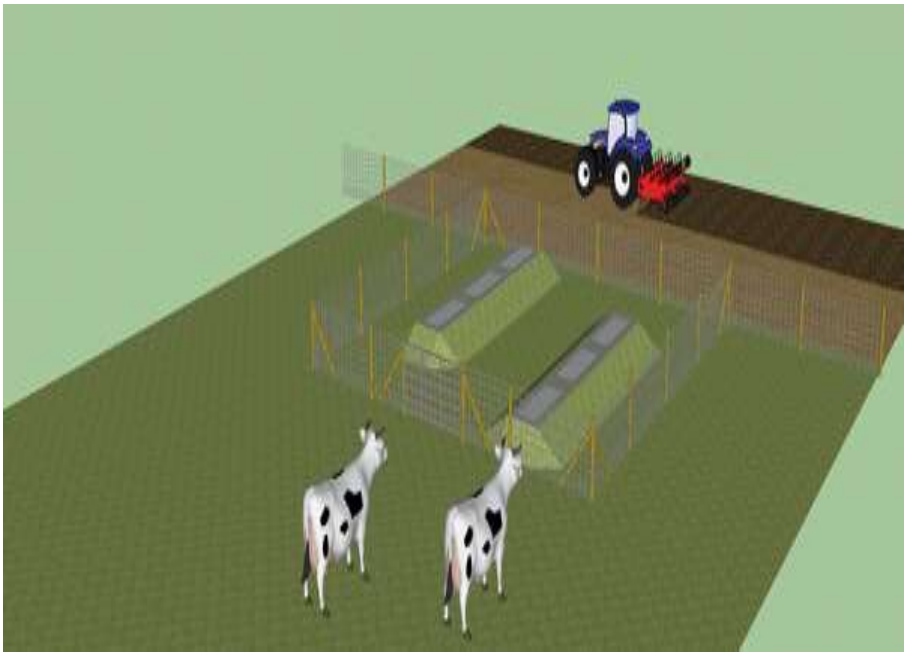


Figuur 1: Onderdelen van een bovengrondse hoogspanningslijn. Bron: Elia, 2020.

Bij hoogspanningskabels nemen de kabels ondergrondse ruimte in en neemt de inspectieput teeltoppervlakte in. De kabels zitten op een diepte van ongeveer 2m, daarboven liggen beschermplaten (Figuur 2). De inspectieput komt ongeveer 0,5m boven de grond uit en wordt met een omheining van 15m op 15m afgemaakt. De omheining kan tot 2m hoog zijn (Figuur 3).



Figuur 2: Kabelsleuf (Stevin, z.d.-a)



Figuur 3: Inspectieputten/transitieputten ondergrondse hoogspanningslijnen ter hoogte van verbinding opeenvolgende kabels bij het Stevin-traject (Stevin, z.d.-a)

3.2 Elektrisch en magnetisch veld rond de hoogspanningsinfrastructuur

Waar elektriciteit wordt getransporteerd of gegenereerd, ontstaan elektrische en magnetische velden. Zo ook in de buurt van hoogspanningsinfrastructuur.
Bij een hoogspanningslijn is de frequentie van het wisselend elektrisch en magnetisch veld gelijk aan de netfrequentie, die in Europa 50Hz (50 oscillaties per seconde) bedraagt. Het veld van een hoogspanningslijn valt daarmee binnen de categorie van velden met een extreem lage frequentie (0 - 300Hz), ook wel ELF (Extremely Low Frequency) genoemd (Blettner & Merzenig, 2014). In België komen hoogspanningslijnen met verschillende spanningsniveaus voor, nl. 380kV, 220kv, 150kV, 110kV en 70kV.
De sterkte van het elektrische veld nabij een hoogspanningslijn hangt af van het spanningsniveau (V) van de lijn, van de afstand tot de lijn en van de configuratie ervan. De elektrische veldsterkte,

uitgedrukt in volt per meter (V/m), rond een fasedraad kan via de volgende vereenvoudigde formule worden benaderd:

$$E = \frac{U}{d} \quad (1)$$

met U de spanning in volt, die bij wisselspanning sinusoïdaal verloopt in functie van de tijd, en met d de afstand tot de fasedraad in meter (m). Bij ondergrondse hoogspanningskabels wordt geen elektrisch veld gegenereerd buiten de metalen afscherming die de kabel omringt.

Zodra er wisselstroom door de hoogspanningslijn vloeit, ontstaat er naast het wisselend elektrische veld ook een wisselend magnetisch veld. De wet van Ampère leert immers dat er, wanneer stroom door een lijnvormige geleider loopt, loodrecht op deze geleider een magnetisch veld wordt opgewekt, waarvan de sterkte evenredig is met de stroomsterkte en omgekeerd evenredig met de afstand tot deze geleider (Giancoli, 2014). De magnetische veldsterkte H, uitgedrukt in ampère per meter (A/m), kan als volgt worden berekend:

$$H = \frac{I}{2*\pi*d} \quad (2)$$

met I de stroomsterkte in ampère (A), die bij wisselstroom sinusoïdaal verloopt in functie van de tijd, en d de afstand tot de fasedraad in meter (m). Het magnetisch veld H (in A/m) wordt meestal uitgedrukt als de magnetische inductie B, met microtesla (μT) als eenheid ($\mu=10^{-6}$). Het magnetisch veld H en de magnetische inductie B zijn in een gegeven materiaal verbonden door de vergelijking:
:

$$B = \mu * H \quad (3)$$

In deze vergelijking staat voor de absolute permeabiliteit, een eigenschap van het medium (voor bovengrondse lijnen is dit lucht) waarin het magnetisch veld wordt opgewekt:

$$\mu = 4 * \pi * 10^{-7} * \mu_r \quad (4)$$

met μ_r de relatieve permeabiliteit die voor lucht 1 bedraagt. Voor lucht stemt een magnetische veldsterkte van 1 A/m daardoor overeen met een magnetisch inductie van 1,26 μT en is 1μT dus gelijk aan 0,8 A/m. Bovenstaande vergelijkingen gelden voor één fasedraad van de hoogspanningslijn. Doordat de velden van de verschillende fasedraden van de hoogspanningslijn elkaar beïnvloeden, zal men op de grond een gecombineerd effect van deze velden ondervinden.

Aangezien de stroomsterkte door een hoogspanningslijn/-kabel varieert in de tijd (in functie van het energietransport) zullen ook de eigenschappen van het magnetisch veld in de tijd variëren. De sterkte van het magnetisch veld en zo ook de magnetische fluxdensiteit worden daarnaast ook sterk beïnvloed door de afstand tussen de fasedraden, de volgorde van de fasen (indien er 2 draadstellen aanwezig zijn) en de positie van de waarnemer ten opzichte van de fasedraden. Vermits het magneetveld afhangt van de stroom en niet van de spanning, zal een hoogspanningslijn/-kabel niet noodzakelijk een sterker magneetveld produceren dan een lijn/kabel op een lagere spanning. Voor een hoogspanningslijn met een hoger spanningsniveau, zal echter over het algemeen ook de afstand tussen de geleiders en de stroomintensiteit toenemen, zodat de veldsterkte meestal ook hoger ligt voor hoogspanningslijnen met een hoger spanningsniveau.

Tabel 5 geeft een indicatie weer van de magnetische fluxdensiteit op verschillende afstanden van een punt onder een hoogspanningslijn, op 1,5m boven het maaiveld. Deze gegevens werden aangeleverd door Elia. De waarden in de tabel gelden voor een projectuitvoering zoals deze die mogelijk voor het Ventilus-project zou worden gebruikt. De berekeningen werden gemaakt voor 2

verschillende stroomsterkten. Enerzijds voor de jaargemiddelde stroomsterkte die ongeveer 30% van de nominale stroomsterkte bedraagt. Daarnaast voor 50% van de nominale stroomsterkte, een waarde die 95% van de tijd niet wordt overschreden. De nominale stroomsterkte is de maximale stroomsterkte die door de betrokken geleiders kan worden getransporteerd en die slechts in zeer uitzonderlijke en tijdelijke noodsituaties zal worden bereikt, vb. bij uitval van een andere verbinding. In het geval van Ventilus is de maximale capaciteit van de lijn 6GW (3GW per draadstel). De waarden die in Tabel 5 worden weergegeven, gelden voor een punt op 1,5m boven het maaiveld op de locatie waar de geleiders het meest doorhangen en waar ze zich dus het dichtst bij het maaiveld bevinden. Voor de lijn van 380kV uit Tabel 5 hangen de geleiders op dat punt op minstens 14m boven het maaiveld.

Tabel 5: Magnetische fluxdensiteit (µT) voor verschillende stroomsterkten op verschillende afstanden, t.o.v. een punt centraal onder de hoogspanningslijn, (op 1,5m boven het maaiveld, in het midden tussen 2 masten) voor een 380kV compacte bovengrondse hoogspanningslijn met een maximale capaciteit van 6GW). De fasedraden bevinden zich in hun laagste punt op minstens 14m boven het maaiveld. De jaargemiddelde stroomsterkte bedraagt ongeveer 30% van de nominale stroomsterkte (I_{nom}) en een stroomsterkte van 50% van I_{nom} wordt 95% van de tijd niet overschreden. Bron: pers. communicatie Elia, 17/11/2020.

Horizontale afstand t.o.v. een punt centraal onder de lijn, op 1,5m boven het maaiveld (m)	Magnetische fluxdensiteit (µT) bij verschillende stroomsterkten	
	Gemiddelde I (30% I_{nom})	50% I_{nom}
0	11,3	15,6
10	8,1	11,6
20	3,8	5,8
30	1,8	2,9
40	0,9	1,5

In Tabel 5 is te zien dat de jaargemiddelde magnetische fluxdensiteit (30% I_{nom}) voor een hoogspanningslijn van 380kV maximaal 11,3µT bedraagt. Afhankelijk van het energieverbruik en daarom van de stroom die door de lijn gaat, kan de magnetische fluxdensiteit op een bepaald moment hoger of lager liggen dan 11,3µT. De stroomsterkte die 50% van de nominale stroom bedraagt, wordt 95% van de tijd niet overschreden en bedraagt maximaal 15,6µT.De maximale magnetische fluxdensiteit die in zeer uitzonderlijke situaties centraal onder de hoogspanningslijn op 1,5m boven het maaiveld zou kunnen worden waargenomen, is deze bij de nominale stroomsterkte en bedraagt 31,3µT(pers. communicatie Elia, 17/11/2020).

De waarden in de tabel gelden op 1,5m boven het maaiveld. De magnetische fluxdensiteit die een toestel, vb. een drone, in de lucht nabij de hoogspanningslijn zal ondervinden, hangt af van de afstand tot de lijn en van de positie van het toestel ten opzichte van de fasedraden. Bij de jaargemiddelde stroomsterkte (30% I_{nom}) zal de magnetische fluxdensiteit op een afstand van minder dan 7,5m rond de fasedraden meer dan 37,7µT (de waarde waaraan EC-gekeurde apparatuur minimaal moet voldoen, *Hoofdstuk 5: Impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologie*) bedragen. Bij 50% van de nominale stroomsterkte (een waarde die 95% van de tijd niet zal worden overschreden) kan een drone de fasedraden tot op 10m naderen alvorens een magnetische fluxdensiteit van meer dan 37,7µT te ondervinden. In het uitzonderlijke geval dat de nominale stroomsterkte zou worden bereikt, zal de magnetische fluxdensiteit vanaf een afstand van minder dan 13m van de fasedraden meer dan 37,7µT bedragen.

Voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen ligt de gemiddelde magnetische fluxdensiteit op 1,5m boven het maaiveld tussen 0,6 en 10µT, afhankelijk van het aantal kabels en van hun onderliggende configuratie (pers. communicatie Elia, 26/05/2020).

3.2.1 Corona- en gapontlading

In sommige gevallen kunnen, naast de extreem lage frequentie velden (50Hz), ook hoogfrequente elektrische velden rond hoogspanningslijnen ontstaan.

Een eerste, frequent voorkomend fenomeen waarbij dit kan gebeuren is corona-ontlading (corona effect). Het corona effect manifesteert zich door hoorbaar geknetter dat soms onder hoogspanningslijnen wordt waargenomen bij vochtig weer. Corona-ontlading is doorslag of ionisatie van de lucht rondom een puntvormig uitsteeksel (een druppel, stof…) op een geleider, doordat daar lokaal de elektrische veldsterkte de diëlektrische sterkte van de lucht overstijgt (Broeckaert et al., 2012). Het elektromagnetisch veld (EMV) dat als gevolg daarvan ontstaat, heeft een frequentie tussen 10kHz en 10MHz. Daardoor kunnen sommige AM-radiosignalen bij mist of regen door hoogspanningslijnen met hoge spanning worden verstoord. Het storend effect is maatschappelijk echter beperkt aangezien de frequentiebanden tussen 10kHz en 10MHz quasi enkel nog door radioamateurs worden gebruikt. Moderne geleiders van hoogspanningslijnen zijn daarnaast zo ontworpen dat ze minder aanleiding geven tot corona-ontlading.

Een tweede, eerder zeldzaam fenomeen dat voor verhoogde frequentie van het EMV kan zorgen, is gap-ontlading (spark-gap effect). Gap-ontlading ontstaat door schade aan de leiding, bijvoorbeeld t.h.v. de isolatoren of de klemmen (door verontreiniging, oxidatie, enz.). Op zo'n beschadiging vindt ontlading plaats tussen twee metalen onderdelen die door de beschadiging met elkaar in contact komen. Het EMV dat als gevolg daarvan ontstaat, kan zich over een groter frequentiebereik (10MHz -1000MHz) uitstrekken dan het EMV in geval van corona-ontlading. Gap-ontlading kan zo voor verstoring van FM-radio- en Tv-signalen zorgen. Wanneer men bij het ontwerp en de aanleg let op het voorkomen van schade en wanneer de lijnen goed worden onderhouden, komt gapontlading zelden voor (Parmar, 2011). Wanneer het fenomeen wordt waargenomen, dient er, in tegenstelling tot bij corona-ontlading, echter wel ingegrepen te worden.

Een belangrijk verschil tussen corona- en gap-ontlading is dat het eerste hoofdzakelijk bij nat of vochtig weer plaatsvindt en het tweede eerder bij droog weer.

Hoewel corona- en gap-ontlading kunnen zorgen voor verstoring van telecommunicatie, gebeurt dit slechts erg uitzonderlijk (pers. communicatie Prof. Wout Joseph, UGent, 13/02/2020). Er werd dan ook besloten om deze fenomenen niet verder mee te nemen in deze literatuurstudie, hoewel het in zeer uitzonderlijke gevallen niet is uitgesloten dat ze problemen, vb. met elektromagnetische compatibiliteit, kunnen veroorzaken.

3.2.2 Magnetische en elektrische koppeling

Het wisselend EMV van de hoogspanningslijn heeft een effect op metalen voorwerpen in haar omgeving.

Het magnetisch veld dat wordt opgewekt door de bovengrondse hoogspanningslijnen induceert spanningen op nabijgelegen metalen voorwerpen. Dit fenomeen heet magnetische of inductieve koppeling. Deze spanningen zijn volledig te verwaarlozen voor voorwerpen of structuren waarvan de lengte beperkt is tot enkele tientallen meters. Ze worden echter belangrijk wanneer er evenwijdigheid en nabijheid is over meerdere honderden meters tussen de hoogspanningslijn en het metalen 'voorwerp'. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn voor metalen leidingen (bijvoorbeeld vloeistof- of gasleidingen) of voor telecommunicatiecircuits die gebruik maken van metalen geleiders.

Net zoals de stroom in een lijn via magnetische koppeling spanningen kan induceren, kan de spanning van de lijn via elektrische of capacitieve koppeling geleidende voorwerpen in de nabij-

heid van de hoogspanningslijn beïnvloeden. Er ontstaan daardoor stromen in de naburige geleidende voorwerpen, die zwerfstromen worden genoemd. Dit verschijnsel houdt over het algemeen minder nadelen of risico's in dan magnetische koppeling, maar is evenwel veel makkelijker waarneembaar, zelfs op voorwerpen met een kleine afmeting. Over het algemeen volstaat het om het voorwerp dat aan capacitieve koppeling onderhevig is te aarden om alle ongemakken weg te nemen.

DEEL 1: De impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering

Hoofdstuk 4. Effect van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies

Het elektromagnetisch veld (EMV) opgewekt rond een hoogspanningslijn kan mogelijk gevolgen hebben voor agrarische constructies die zich in de nabijheid van de lijn bevinden. Enerzijds, kunnen zwerfstromen een probleem vormen in constructies en stalonderdelen (drinkbakken, voederhekkens, enz....) die niet zijn geaard. Anderzijds, bestaat de vrees dat het EMV voor versnelde corrosie en metaalmoeheid van metalen constructies nabij de hoogspanningslijn zou zorgen. In wat volgt worden deze 3 mogelijke effecten verder besproken.

4.1 Zwerfstromen in veestallen

Wanneer een veestal zich onder een hoogspanningslijn bevindt, moet extra aandacht worden besteed aan het voorkomen van zwerfstromen. Zwerfstromen zijn ongewenste stromen die in geleidende materialen kunnen ontstaan, onder meer onder invloed van het elektrisch veld van de hoogspanningslijn (*3.2.2 Magnetische en elektrische koppeling*). Het fenomeen dat deze zwerfstromen nabij hoogspanningslijnen veroorzaakt, heet elektrische of capacitieve koppeling. Deze stromen kunnen ontstaan in geleidende onderdelen van de stalconstructie, alsook in geleidende elementen in de stal, zoals in drinkbakken en hekkens. Ook buiten de stal, bijvoorbeeld in drinkbakken op weilanden, kunnen dergelijke zwerfstromen voorkomen.

Wanneer stalonderdelen, waarin zwerfstromen voorkomen, niet geaard zijn, zal er een potentiaalverschil ontstaan met de bodem. Wanneer een dier bijvoorbeeld een drinkbak onder zwerfstroom aanraakt, zal de stroom zich via het lichaam van het dier naar de bodem verplaatsen. Daarbij kan een elektrische ontlading plaatsvinden, waarbij het dier een kleine elektrische schok krijgt. Het is daarom belangrijk om ervoor te zorgen dat alle onderdelen van de stalconstructie geaard zijn (ANSES, 2015). Voor de impact van zwerfstromen op de gezondheid en het gedrag van dieren wordt verwezen naar *Hoofdstuk 7 Impact van hoogspanningsinfrastructuur op dierlijke productie* van deze literatuurstudie.

Er dient te worden opgemerkt dat het elektrisch veld van een hoogspanningslijn niet de enige mogelijke bron van zwerfstromen is. Ook gebreken in de isolatie van de elektrische installatie, het niet aangepast zijn van elektrische leidingen aan het gevraagde vermogen of defecte elektrische apparatuur kunnen voor zwerfstromen zorgen (Fedagrim, 2017). De elektrische installatie in agrarische constructies dient daarom conform te zijn aan het Algemeen Reglement op Elektrische Installaties (AREI) en moet correct zijn geaard om zwerfstromen te voorkomen (FOD Economie, 2020).

4.2 Corrosie door magnetische koppeling

Een aantal studies wijzen uit dat magnetische koppeling, veroorzaakt door het magnetisch veld van AC-hoogspanningslijnen (*alternating current* - wisselstroom), corrosie kan versnellen in ondergrondse leidingen en metalen constructies die lang parallel aan de hoogspanningslijn lopen (Guo et al., 2015). Dit proces wordt in de literatuur door wisselstroom geïnduceerde corrosie, kortweg AC-corrosie, genoemd. De kans op deze versnelde corrosie is het grootst in een elektrolytische omgeving zoals in de bodem, in vochtig beton of grondwater (Goidanich et al., 2010).

Hoe AC-corrosie werkt, is nog niet volledig duidelijk. Tot nu toe werd hoofdzakelijk onderzoek gedaan naar het voorkomen en het effect van AC-corrosie in ondergrondse pijpleidingen parallel onder hoogspanningslijnen. Uit die onderzoeken bleek dat de aanwezigheid van de hoogspanningslijn en het bijhorende EMV inderdaad voor versnelde corrosie van de pijplijnen zorgde. Ook wanneer deze leidingen met een anticorrosieve laag beschermd zijn, kan versnelde corrosie optreden indien er zich microscopische defecten of beschadigingen in de coating bevinden (Guo et al., 2015). Kathodische bescherming kan een oplossing voor dit probleem bieden, al moet ook dit proces worden geoptimaliseerd om AC-corrosie te voorkomen (Büchler & Schöneich, 2009).

Over het effect van AC-corrosie op bovengrondse metalen constructies kon volgens ons onderzoek niets worden teruggevonden in de literatuur. Daarom kan er geen uitspraak worden gedaan over het al dan niet versneld corroderen van constructies, zoals serres en stallen, nabij hoogspanningslijnen. In een stal- of serreomgeving is het mogelijk dat metalen constructies zich in een elektrolytische (vochtige) omgeving bevinden. Wanneer stallen of serres met dergelijke vochtige condities over lange afstand parallel lopen aan de hoogspanningslijn valt AC-corrosie dus niet uit te sluiten. Hoe langer de constructie parallel loopt aan de hoogspanningslijn, hoe groter de kans op het ondervinden van een effect door AC-corrosie. De lengte waarover een bovengrondse constructie parallel aan de hoogspanningslijn moet lopen alvorens een significante versnelling van de corrosie zou kunnen worden waargenomen, hangt af van een aantal factoren, waaronder de eigenschappen van de hoogspanningslijn, de elektrolytische sterkte van de omgeving en de eigenschappen van het materiaal waaruit de constructie is opgebouwd (Guo et al., 2015; Goidanich et al., 2010).

4.3 Metaalmoeheid nabij hoogspanningslijnen

Eén van de bezorgdheden van landbouwers is dat metaalmoeheid sneller kan optreden in constructies die zich nabij een hoogspanningslijn bevinden. Hierover kon in de literatuur echter niets worden teruggevonden. Ook navraag bij het expertisecentrum van Agoria leverde geen informatie op omtrent de mogelijke relatie tussen versnelde metaalmoeheid en de aanwezigheid van een hoogspanningslijn (pers. communicatie Agoria, 13/05/2020). Ook Elia gaf aan geen aanwijzingen te hebben voor versnelde metaalmoeheid bij hun hoogspanningsmasten (pers. communicatie Elia, 20/05/2020).

Discussie en conclusie agrarische constructie

Nabij een hoogspanningslijn moet er in agrarische constructies voldoende aandacht worden besteed aan het aarden van de constructie en van stalonderdelen zoals hekkens en drinkbakken, wil men stress door stroom bij vee vermijden.

Versnelde corrosie van ondergrondse metalen constructies en leidingen die over grote afstand parallel aan een hoogspanningslijn lopen, is een gekend fenomeen. Of ook bovengrondse metalen constructies versneld corroderen in het EMV van de hoogspanningslijn werd niet in de literatuur teruggevonden. Wanneer serres of stallen, waarin metalen structuren zich in een vochtig milieu kunnen bevinden, over lange afstand parallel aan de hoogspanningslijn lopen, valt AC-corrosie echter niet uit te sluiten. Ook over versnelde metaalmoeheid in constructies nabij een hoogspanningslijn kon niets worden teruggevonden. Er lijkt op dit moment echter geen aanwijzing te zijn voor het voorkomen van versnelde metaalmoeheid onder hoogspanningslijnen.

Hoofdstuk 5. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologie

Elektrisch apparaten (sensoren, drones, enz.) kunnen op twee manieren door het elektrisch en magnetisch veld van de hoogspanningslijn worden beïnvloed. Enerzijds kan het EMV het signaal dat door het apparaat wordt ontvangen of verzonden, verstoren, wanneer de frequentie van dit signaal in dezelfde frequentieband als de frequentie van het EMV van de hoogspanningslijn ligt. Anderzijds, kunnen er in de elektronische circuits van het toestel ongewenste elektrische spanningen worden opgewekt, wanneer het toestel zich in een voldoende sterk wisselend elektromagnetisch veld bevindt. Ook deze geïnduceerde spanningen kunnen de werking van het apparaat verstoren.

Of elektrische apparaten immuun zijn voor deze manieren van verstoring door het EMV, moet geval per geval worden geëvalueerd (pers. communicatie Prof. Jos Knockaert, UGent, 18/02/2020). Het vermogen van een toestel om goed in haar elektromagnetische omgeving te functioneren zonder zelf elektromagnetische verstoringen te veroorzaken die ontoelaatbaar zijn voor andere toestellen in die omgeving, heet elektromagnetische compatibiliteit (afgekort EMC) (Europees parlement en de Raad, 2014).

Volgens de Europese richtlijn rond EMC moet een toestel voldoen aan volgende punten, opdat het in de Europese Economische ruimte mag worden gebracht (Europees parlement en de Raad, 2018):

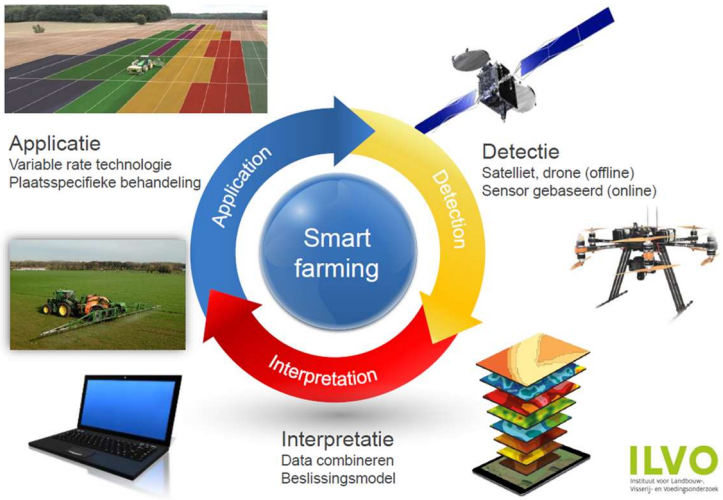
- Voldoende lage emissie. Het EMV opgewekt door de apparatuur mag de werking van radio- en telecommunicatie apparatuur en andere apparatuur niet verstoren.
- Voldoende hoge immuniteit. De apparatuur wordt weinig verstoord door externe elektromagnetische velden, waardoor ze hierin kan opereren zonder onacceptabele degradatie van de voorziene werking.

Producenten van elektronica zijn verplicht om de EMC van elk nieuw toestel te evalueren. Dit kunnen ze doen a.d.h.v. generieke normen die zijn opgesteld door de Europese Unie of a.d.h.v. productnormen die zijn bepaald door de producent zelf. Volgens de generieke normen (EN61000-6-1 en EN61000-6-2) moet een elektrisch toestel minstens bestand zijn tegen een magnetisch veld van 50 of 60Hz met een veldsterkte van 30A/m. Het CE-label geeft aan dat een product aan de Europese wetgeving omtrent EMC voldoet.

Een magnetische veldsterkte van 30A/m komt volgens formule 3 *(3.2 Elektrisch en magnetisch veld rond de hoogspanningsinfrastructuur)* overeen met een magnetische fluxdensiteit van 37,7μT. Aangezien de magnetische fluxdensiteit op 1,5m boven het maaiveld maximaal 31,3μT bedraagt (magnetische fluxdensiteit bij I_{nom}, pers. communicatie Elia, 17/11/2020), kan worden besloten dat toestellen die zich op 1,5m boven het maaiveld bevinden en aan de generieke normen voldoen zelden problemen met EMC zullen ondervinden. Ook bij toestellen op 1,5m boven het maaiveld boven een ondergrondse hoogspanningslijn en bij toestellen die in de lucht een afstand van meer dan 13m (bij I_{nom}, 10m bij 50% I_{nom}) van de fasedraden van een bovengrondse lijn aanhouden, zullen in normale omstandigheden geen problemen met EMC optreden, aangezien de magnetische fluxdensiteit in die omstandigheden minder dan 37,7μT bedraagt.

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologische toepassingen van precisielandbouw. Precisielandbouw kent een heel uitgebreid gamma aan toepassingen, die tot doel hebben om bodem- en gewaseigenschappen in de ruimte en in de tijd in kaart te brengen, zodat de juiste hoeveelheid inputs (meststoffen, water voor irrigatie, zaden, gewasbeschermingsmiddelen enz.) op de juiste plaats en op het juiste moment kunnen worden ingezet.

Algemeen kan een precisielandbouwtoepassing in 3 stappen worden opgedeeld. Eerst worden de bodem- en gewaseigenschappen gedetecteerd, vervolgens worden deze eigenschappen geïnterpreteerd, zodat in de applicatiestap op elke plaats de gepaste hoeveelheid inputs kan worden toegediend (Figuur 4).



Figuur 4: Overzicht van de stappen die binnen precisielandbouwtoepassingen worden gevolgd. Bron: ILVO.

De detectie van variatie in bodem- en gewaseigenschappen gebeurt via sensoren. Bij remote sensing worden sensoren ingezet die op satellieten, unmanned aerial vehicles (UAV's) of tractoren bevestigd zijn om vanop afstand bodem- of gewaseigenschappen in kaart brengen. Bij proximal sensing maken de sensoren contact met of bevinden ze zich dicht bij het gewas of de bodem.

Het detecteren van variatie kan een tijd vooraf gebeuren of pas vlak voor de applicatiestap. Wanneer detectie enige tijd vooraf gebeurt, spreekt men van offline detectie. In dat geval zal eerst via de sensoren de ruimtelijke variatie in kaart worden gebracht. Erg nauwkeurige plaatsbepaling en navigatie speelt bij offline detectie een grote rol. Nauwkeurige plaatsbepaling is immers nodig om de sensordata aan de juiste locatie in het veld te linken (d.i. het georefereren van de data), zodat de data (vb. stikstofinhoud van het gewas) geïnterpreteerd en verwerkt kan worden in een taakkaart (vb. een kaart die op elke locatie in het veld aangeeft hoeveel er bemest moet worden). Die taakkaart kan dan tijdens de applicatiestap worden gevolgd, waarbij nauwkeurige navigatie opnieuw van groot belang is. Bij online detectie wordt de variatie lokaal geëvalueerd vlak voor de applicatiestap (vb. een sensor die vooraan op de tractor is bevestigd en de stikstof inhoud van het gewas vlak voor de tractor evalueert, zodat meteen de gepaste hoeveelheid meststof kan worden toegediend).

De correcte werking van sensoren en platformen (UAV's en tractoren), nauwkeurige plaatsbepaling en goede draadloze (sensor)communicatie is van cruciaal belang wil men precisielandbouwtoepassingen inzetten. Men kan bijvoorbeeld vochtsensoren in de bodem plaatsen, waarvan de data wordt gecombineerd met weersvoorspellingen om een veld zo gericht te irrigeren. Bij een dergelijke toepassing speelt draadloze (sensor)communicatie een belangrijke rol. Een ander voorbeeld is de automatische sturing van tractoren. Tractoren kunnen automatisch worden gestuurd om de meest efficiënte rijpaden op het veld te volgen. Via een systeem van automatisch sturing kan ook erg precies worden gezaaid of geplant, zodat de locatie van de planten zo nauwkeurig is gekend dat automatisch geschoffeld kan worden. Dergelijke toepassingen steunen heel sterk op nauwkeurige plaatsbepaling (cm-niveau), aangezien een kleine fout in de navigatie het verschil kan maken tussen het wegschoffelen van onkruid of het wegschoffelen van het gewas.

In wat volgt, zal dieper worden ingegaan op de impact van de in *Hoofdstuk 3 Eigenschappen van hoogspanning* besproken eigenschappen van hoogspanningslijnen (fysieke aanwezigheid en EMV)

op remote en proximal sensing, nauwkeurige plaatsbepaling en draadloze (sensor)communicatie. Op die manier wordt geëvalueerd welke impact een hoogspanningslijn heeft op de mogelijkheid van een landbouwer om precisietechnologie in te zetten, iets wat momenteel in opmars is en in de toekomst vermoedelijk meer en meer aan belang zal winnen.

5.1 Effect van hoogspanningslijnen op remote sensing

Remote sensing is het meten van gewas- en bodemcondities vanop afstand, nl. vanop minstens 2m boven de bodem of het gewas (Mulla, 2013). Sensoren (bv. RGB, thermale en multispectrale camera's) gebruikt in remote sensing worden gemonteerd op platformen zoals satellieten, unmanned aerial vehicles (UAV's) of tractoren.

5.1.1 Effect van hoogspanningslijnen op UAV platformen

Aangezien satellieten en in normale omstandigheden ook tractoren geen hinder ondervinden van de aanwezigheid van de hoogspanningslijn, zal in dit deel enkel worden ingegaan op de inzetbaarheid van UAV's nabij hoogspanningslijnen (Ladan et al., 2016a; Ladan et al., 2016b).

UAV's (Unmanned Aerial Vehicles) zijn vliegende platformen die vanop afstand worden bestuurd of autonoom een vooraf geprogrammeerde route volgen. De meeste gebruikte UAV voor remote sensing toepassingen in Vlaanderen is de multicopter (drone). De piloot bestuurt het toestel vanop de grond via de radio link of transmitter. Bij autonome vluchten kan de piloot, in geval van nood, steeds via de transmitter de controle van de drone overnemen. Communicatie tussen de drone en de transmitter gebeurt bij hoge frequentie (2,4GHz of 5,8GHz) (Nguyen et al., 2016). Doordat de gebruikte frequenties veel hoger liggen dan deze van het EMV van de hoogspanningslijn is er geen kans op signaalverstoring van de communicatie tussen de drone en de transmitter.

Er kunnen echter wel problemen optreden met bestuurbaarheid van de drone, wanneer deze dicht bij de bovengrondse hoogspanningslijn vliegt. Het EMV kan immers elektrische storingen in de bedrading van de drone induceren. Die onbedoelde storingen kunnen de werking van de navigatie- en communicatiesystemen in de drone beïnvloeden (da Silva et al., 2020; Zhang et al., 2019). De afstand waarop een drone de lijn mag naderen alvorens deze problemen optreden, hangt sterk af van de specifieke hardware en lay-out van deze hardware in de drone. De specifieke afstand waarop een drone hinder ondervindt, zou voor elk model afzonderlijk moeten worden bepaald (pers. communicatie Prof. Jos Knockaert, UGent, 18/02/2020). Volgens de Europese wetgeving rond UAV's moeten drones aan de Europese EMC-richtlijn voldoen (Europees parlement en de Raad, 2018). Producenten moeten de EMC van de drones dus evalueren en dit o.b.v. de generieke normen (50Hz, 30A/m of 37,7μT, zie hoger) of o.b.v. productnormen (meestal is op de website van de fabrikant terug te vinden welke standaarden werden gebruikt[1]). Zoals aangegeven in de inleiding van dit hoofdstuk bewaart men, indien men problemen in worst case scenario's wil vermijden met een toestel dat volgens de generieke normen is gekeurd, bij het vliegen nabij een hoogspanningslijn best een afstand van minstens 13m. Deze afstand is bepaald bij de nominale stroomsterkte, een stroomsterkte die slechts in zeer uitzonderlijke situaties zal worden bereikt. 95% van de tijd bedraagt de stroomsterkte niet meer dan 50% van de nominale stroom en kan een drone tot op 10m naderen alvorens de magnetische fluxdensiteit meer dan 37,7 T zal bedragen *(3.2 Elektrisch en magnetisch veld rond de hoogspanningsinfrastructuur)*.

In de literatuur zijn veel papers te vinden over het inzetten van UAV's bij inspectie van hoogspanningslijnen en bij het in kaart brengen van de onderliggende vegetatie. Vaak gaat het daarin echter

[1] De normen voor EMC gehanteerd door bijvoorbeeld DJI zijn terug te vinden op hun website: *https://www.dji.com/be/euro-compliance*

over drones die op grote afstand boven de hoogspanningslijn vliegen of drones die speciaal voor deze toepassing zijn aangepast (da Silva et al., 2020; Matikainen et al., 2016). Er werden gespecialiseerde drones ontwikkeld voor inspectie van hoogspanningslijnen, die de lijn erg dicht kunnen naderen (da Silva et al., 2020; Miralles et al., 2018). Deze drones kunnen op verschillende manieren tegen de invloed van het EMV zijn beschermd. Zo kunnen ferromagnetische metalen de elektronica afschermen en kan de sturing van elektronica, bijvoorbeeld door toepassing van een Kalmanfilter, tegen de effecten van elektromagnetische ruis worden beschermd. Gangbare drones beschikken echter niet over dergelijke aanpassingen en moeten dus de gepaste afstand van de lijn houden om problemen met EMC te vermijden.

Naast verstoring door geïnduceerde spanningen kan de bestuurbaarheid van de drone ook worden beïnvloed door afwijking van de magnetometer als gevolg van het magnetisch veld rond de hoogspanningslijn (Beard & McLain, 2012). Ook bij automatische sturing kunnen problemen optreden als de magnetometer wordt verstoord. De magnetometer is het kompas waarmee de vliegrichting (*yaw*) van de drone wordt bepaald. In een studie van Park et al. (2020) traden voor de door hen gebruikte drone bij een hoogspanningslijn van 345kV problemen op met de magnetometer vanaf een afstand van 15m van een punt op de middelste fasedraad in het midden tussen de 2 masten. Over de magnetische veldsterkte die minimaal nodig is om een verstoring te veroorzaken, kon volgens onze bevindingen niets in de literatuur worden teruggevonden. De magnetometer is onderdeel van de IMU-unit, die zorgt voor snelle updates over de vliegrichting en positie van de drone en dit zowel in atti-modus (vliegen zonder GPS) als in GPS-modus. GPS zorgt voor tragere updates over de positie van de drone. Omwille van het belang van exacte locatiebepaling van de drone om een veld volledig in kaart te kunnen brengen, worden drones voor precisielandbouwtoepassingen steeds vaker uitgerust met RTK-GPS (cm-nauwkeurigheid). Drones met een dergelijk, meer geavanceerd GPS-systeem (vb. 2 GPS-ontvangers of een RTK-GPS-systeem) worden ook bij inspectie van hoogspanningslijnen ingezet omdat deze minder gevoelig zouden zijn voor kleine storingen van de magnetometer door het EMV van de hoogspanningslijn. Elia geeft aan geen problemen te ondervinden bij het vliegen op 8m van de hoogspanningslijn met een drone die met een RTK-GPS-systeem is uitgerust. De vorige drone die Elia gebruikte, was uitgerust met een minder geavanceerd GPS-systeem en ondervond wel problemen door het EMV van de hoogspanningslijn, zij het slechts een enkele keer (pers. communicatie Elia, 16/07/2020).

Ook de fysieke aanwezigheid van de hoogspanningslijn kan een impact hebben op de inzetbaarheid van drones. Aangezien de hoogspanningslijn een obstakel vormt, moet de drone volgens de huidige wetgeving 30m afstand van de masten en fasedraden behouden. Wanneer met een risicoanalyse kan worden aangetoond dat vluchten (van droneklasse 1) op een kortere afstand kunnen worden uitgevoerd zonder de veiligheid in gevaar te brengen, kan de dronepiloot een aanvraag indienen om voor een specifieke vlucht van die 30m afstand af te wijken (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en vervoer, 2016). Droneklasse 1 vluchtuitvoeringen zijn vluchten die matig of verhoogd risico inhouden voor de luchtvaartveiligheid en/of de veiligheid van personen en goederen op de grond. Enkel bevoegde dronepiloten met een klasse 1 licentie mogen dergelijke vluchten uitvoeren en moeten daarbij rekening houden met strikte veiligheidsnormen (Federale Overheidsdienst Mobiliteit en vervoer, 2016). Elia raadt aan om steeds een afstand van minstens 8m van een hoogspanningslijn van 380kV te behouden (pers. communicatie Elia). Daarnaast kan ook navigatie via Global Navigation Satellite Systems (GNSS), zoals GPS, hinder ondervinden van de fysieke aanwezigheid van de lijn, door reflectie van correctiesignalen op de mast (*5.3 Effect van hoogspanningslijnen op GNSS*).

Uit navraag bij dronepiloten van ILVO en van 2 bedrijven die commerciële dronetoepassingen aanbieden (Maxicon en Didex) blijkt dat vliegen rond een hoogspanningslijn als een risicovolle onderneming wordt beschouwd, die om extra voorzorgsmaatregelen vraagt en soms het volledig in kaart brengen van een veld sterk bemoeilijkt (pers. communicatie dronepiloten bij Maxicon,

2/07/2020; ILVO, 9/07/2020; Didex, 13/07/2020). De piloten gaven aan dat de afstand tot de hoogspanningslijn vanop de grond moeilijk is in te schatten, wat het tijdig en gepast corrigeren van de drone bemoeilijkt. Twee van de drie gecontacteerde dronepiloten hadden nog nooit een uitzondering aangevraagd om tijdens een bepaalde vlucht de hoogspanningslijn tot op minder dan 30m te naderen. De dronepiloot die wel al voor een aantal vluchten zo'n uitzondering had aangevraagd en deze had verkregen, gaf aan steeds een minimale afstand van 15m te bewaren. Geen enkele van de piloten ondervond op die afstanden al problemen door de hoogspanningslijn met het functioneren van de drone. Onder of boven de lijn door vliegen wordt zoveel mogelijk vermeden. Een van de twee commerciële dronepiloten gaf aan al een opdracht te hebben moeten weigeren, omdat de hoogspanningslijn boven het veld het onmogelijk maakte om op de gewenste hoogte over het veld te vliegen. De vlieghoogte van een drone bepaalt (samen met het type sensor) de resolutie waarmee het veld in kaart kan worden gebracht. Voor sommige toepassingen, vb. voor het uitvoeren van plantentellingen, is een hogere resolutie en dus een lagere vlieghoogte vereist dan voor andere toepassingen. Door de hoogspanningslijn zou de dronepiloot te hoog boven het veld hebben moeten vliegen, waardoor het veld niet aan een voldoende hoge resolutie in kaart zou kunnen worden gebracht. Een dergelijk probleem zou kunnen worden opgelost door een alternatieve lens (indien mogelijk) of sensor te gebruiken die bij hogere vlieghoogte nog een voldoende hoge resolutie garandeert. Wanneer de piloot daar niet over beschikt, vraagt dit om een extra investering die hij voor een dergelijke uitzonderlijke situatie mogelijk niet zal maken.

5.1.2 Effect van hoogspanningslijnen op sensoren

Op de UAV worden sensoren bevestigd, waarmee de eigenschappen van het gewas of de bodem kunnen worden nagegaan. Sensoren die voor remote sensing worden gebruikt, zijn o.a. RGB-, multi- of hyperspectrale camera's, thermale camera's en Lidar sensoren.

Aangezien deze sensoren werken o.b.v. hoogfrequente signalen (>3GHz) zullen ze geen problemen met signaalinterferentie door het EMV van de hoogspanningslijn ondervinden. Net zoals ieder elektrisch toestel moet echter ook bij deze sensoren rekening worden gehouden met EMC, wanneer ze de fasedraden van de hoogspanningslijn dicht naderen.

Volgens ons literatuuronderzoek zijn er geen specifieke studies beschikbaar over het effect van hoogspanningslijnen op remote sensing in de context van precisielandbouw. Uit de reviewpaper van Matikainen et al. (2016) blijkt dat het potentieel van remote sensing om hoogspanningslijnen en de onderliggende vegetatie te inspecteren, al uitgebreid werd onderzocht. In de review werd geen melding gemaakt van problemen die optraden bij het gebruik van remote sensing sensoren (Lidar, laser-scanner, thermale camera's) in de buurt van de hoogspanningslijnen, wanneer voldoende afstand wordt aangehouden.

Zoals eerder al aangegeven, kan de fysieke aanwezigheid van de lijn, afhankelijk van de ligging van de hoogspanningslijn ten opzichte van het in kaart te brengen veld, in sommige gevallen belemmeren dat het hele veld op een uniforme manier en aan een voldoende hoge resolutie in kaart kan worden gebracht. De vlieghoogte van de drone bepaalt samen met het type sensor de resolutie waarmee het veld in kaart wordt gebracht en is zeer case-specifiek. Omwille van de wettelijke maximumhoogte voor het vliegen met drones van 90m, ligt de vlieghoogte bij precisielandbouwtoepassingen tussen 10 en 90m. In 90% van de gevallen hangen de fasedraden van de hoogspanningslijn op hun laagste punt tussen 12 (tussen de masten) en 25m (aan de mast). Wanneer de dronepiloot geen uitzondering aanvraagt om de hoogspanningslijn dichter dan 30m te naderen, is onder de lijn door vliegen in 90% van de gevallen dus geen optie. In 90% van de gevallen is de hoogspanningsmast 55 à 60m hoog. Daardoor kan in 90% van de gevallen ook met de wettelijke restrictie van 30m afstand nog boven de hoogspanningslijn gevlogen worden. Het is echter mogelijk dat de resolutie bij een dergelijke vlieghoogte te laag is voor het verkrijgen van de gewenste informatie, waardoor de hoogspanningslijn het volledig en aan de gewenste resolutie in kaart

brengen van het veld verhindert. Een sensor met een hogere resolutie kan dit probleem opvangen, maar is niet altijd aanwezig of beschikbaar.

Discussie en conclusie remote sensing

Zolang voldoende afstand (>13m) van de fasedraden wordt behouden, is er geen reden om aan te nemen dat er problemen zullen optreden met de UAV of met de daarop gemonteerde sensoren, wanneer deze volgens de Europese EMC-normen zijn gekeurd. De aanwezigheid van de hoogspanningslijn zorgt wel voor meer restricties en in acht te nemen voorzorgsmaatregelen dan wanneer de lijn er niet zou zijn en kan bovendien het volledig en aan de gewenste resolutie in kaart brengen van een veld verhinderen. Dit laatste kan worden opgelost door het gebruik van een andere lens (indien mogelijk) of sensor, maar dit brengt mogelijks een extra kost met zich mee.

5.2 Effect van hoogspanningslijnen op proximal sensing

Bij proximal sensing worden sensoren ingezet om informatie over de bodem of het gewas te verzamelen op een manier waarbij de detector in contact staat met of zich op maximaal 2m van de bodem of de plant bevindt (Rossel et al., 2011). Aangezien deze sensoren dicht bij de bodem (verder van de fasedraden) worden ingezet, is de kans op problemen met EMC erg klein.

Veel van de sensoren die voor proximal sensing worden gebruikt, werken o.b.v. mechanische, elektrochemische of reflectie-eigenschappen (in het visuele of nabij-infrarode spectrum) van de bodem of het gewas. Deze sensoren registreren signalen met erg hoge frequenties (>3GHz) en zijn bijgevolg niet gevoelig voor interferentie met het EMV van de hoogspanningslijn (Rossel et al., 2011).

Enkele vaak gebruikte sensoren voor proximal sensing werken echter met lagere frequenties (<3GHz). In wat volgt worden deze sensoren besproken en wordt geëvalueerd of hun werking door het EMV van de hoogspanningslijn kan worden beïnvloed.

5.2.1 Elektrische resistiviteitsensoren

Elektrische resistiviteit kan worden gebruikt als een proxy voor een aantal fysische bodemeigenschappen, waaronder de textuur en het watergehalte (Samouëlian et al., 2005). De meting gebeurt door een laagfrequente stroom doorheen de bodem te sturen en het opgewekte potentiaalverschil te meten. Variaties in het potentiaalverschil kunnen vervolgens worden gelinkt aan plaatsen in de bodem met andere fysische eigenschappen. Deze techniek is ongevoelig voor verstoring door externe elektromagnetische velden en kan dan ook zonder problemen onder hoogspanningslijnen worden toegepast (Van Meirvenne & Van De Vijver, 2018).

5.2.2 Permittiviteitsensoren

Via permittiviteitsensoren, meestal ground penetrating radar of GPR genoemd, kan worden bepaald in welke mate een materiaal een elektromagnetische golf kan vertragen. Deze eigenschap, die de diëlektrische permittiviteit wordt genoemd, kan worden gebruikt om verschillende bodemlagen en hun vochtgehalte in kaart te brengen. Een GPR bestaat uit een transmitter en een ontvanger. De transmitter stuurt elektromagnetische golven met een frequentie van 50MHz tot 3GHz door de bodem. Deze golven worden bij een verandering in permittiviteit gereflecteerd naar de ontvanger van de GPR. Uit de tijd tot reflectie en de reflectiesterkte kunnen de eigenschappen van de bodem worden afgeleid (Rossel et al., 2011). GPR is gevoelig voor GSM- en radiosignalen die aan dezelfde frequentie worden uitgezonden. Aangezien de frequentie van GPR minstens 50MHz is, is er geen probleem bij het gebruik in de buurt van hoogspanningslijnen (Van Meirvenne & Van De Vijver, 2018).

5.2.3 Elektromagnetische inductiesensoren

Een elektromagnetische inductiesensor (EMI-sensor) is een sensor die vaak in precisielandbouw wordt ingezet en die de schijnbare elektrische conductiviteit van de bodem meet. Deze is gelinkt aan de textuur, het vochtgehalte en de saliniteit van de bodem. Een EMI-sensor bestaat uit een transmitter- en een ontvangerspoel. Door de transmitter loopt een wisselstroom met een lage frequentie (kHz-band). Daardoor ontstaan een magnetisch veld en bijhorende stromen, *eddy currents* genoemd, in de bodem. Door deze *eddy currents* wordt een secundair magnetisch veld opgewekt, waarvan amplitude door de ontvangerspoel wordt opgemeten. Uit deze amplitude kan de schijnbare bulk elektrische conductiviteit worden afgeleid. EMI is een vaak toegepaste techniek in precisielandbouw om bodemeigenschappen in kaart te brengen (Rossel et al., 2011). Enkele voorbeelden van EMI-sensoren zijn de EM38, de EM38-MK2 en de SoilXplorer. Hoewel hierover in de literatuur weinig is terug te vinden, is bekend dat EMI-sensoren gevoelig zijn aan elektromagnetische ruis. Zo kunnen EMI-metingen onder een hoogspanningslijn tot oscillerende meetresultaten leiden (Heil & Schmidhalter, 2019; Van Meirvenne & Van De Vijver, 2018). Uit navraag bij Dualem, een producent van EMI-sensoren, bleek dat EMI-sensoren die in een kleine frequentieband opereren de ruis in bepaalde mate kunnen wegfilteren, maar dat desondanks in een bepaalde zone nabij de hoogspanningslijn een significante verstoring kan plaatsvinden (pers. communicatie Dualem, 09/11/2020). De mate van verstoring en de zone waarin deze plaatsvindt, zijn erg case-specifiek, omdat dit afhangt van het type EMI-sensor, de positie van de sensor ten opzichte van de hoogspanningslijn en de sterkte van het magnetisch veld. Over de magnetische veldsterkte die nodig is om dergelijke verstoringen te veroorzaken, kon via ons literatuuronderzoek niets worden teruggevonden. Elektrische resistiviteitsensoren, zoals de Veris iScan bodemscanner, kunnen een alternatief bieden voor de EMI-sensor in de buurt van hoogspanningslijnen. Gebruik van dit type sensoren kan mogelijks een extra kost met zich meebrengen.

<u>Discussie en conclusie proximal sensing</u>

In normale omstandigheden kan enkel de werking van de elektromagnetische inductiesensor (EMI-sensor) door de hoogspanningslijn worden beïnvloed. Over de magnetische veldsterkte die nodig is om de EMI-sensor te verstoren, kon in ons literatuuronderzoek echter niets worden teruggevonden. In het kader van precisielandbouw is dit wel een vaak toegepaste proximal sensing techniek. Elektrische resistiviteitsensoren kunnen een alternatief bieden voor de EMI-sensor in de buurt van hoogspanningslijnen. Gebruik van dit type sensoren kan mogelijks een extra kost met zich meebrengen.

5.3 Effect van hoogspanningslijnen op GNSS

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) zijn van cruciaal belang voor precisielandbouw. Dankzij deze systemen kan de exacte positie van een tractor, autonoom voertuig of UAV worden bepaald. Dit maakt het mogelijk om gecapteerde data te georefereren. Ook laat het de landbouwer toe om bijvoorbeeld o.b.v. een taakkaart te bemesten of te bespuiten, om nauwkeurig (gestuurd) te schoffelen of om vooraf of ter plaatse de meest efficiënte rijpaden te bepalen en deze automatisch door de tractor te laten volgen. Erg nauwkeurige, betrouwbare positiebepaling is van cruciaal belang voor veel precisielandbouwtoepassingen, vooral om overlap en zones zonder behandeling te vermijden, om schade aan planten (vb. bij automatisch schoffelen) te voorkomen en voor nauwkeurig automatisch sturen bij zaaien en planten. Een belangrijke vraag in het kader van de aanleg van een hoogspanningslijn door landbouwgebied is dan ook of deze de precieze navigatie (op cm-niveau) op het veld zal belemmeren.

5.3.1 Werking en nauwkeurigheid van GNSS

GNSS is de algemene term voor het aanduiden van een navigatiesysteem dat zich op satellietgegevens baseert. Satellieten zenden vanuit de ruimte positie- en tijdgegevens uit, die door ontvangers op het aardoppervlak worden opgevangen. Door de gegevens van minstens 4 satellieten te combineren, kan de exacte positie van de ontvanger worden bepaald. Systemen die onder GNSS vallen, zijn onder meer GPS (Amerikaans), GLONASS (Russisch) en Galileo (Europees) (Dow et al., 2009). De nauwkeurigheid van positiebepaling door GNSS-systemen hangt af van de kwaliteit van de ontvanger en van de omgeving waarin die zich bevindt. Zo wijkt de positieschatting sterker af in steden dan op een open veld. Aangezien bij GNSS de positie wordt afgeleid uit de tijd tussen het uitzenden van het signaal door de satelliet en het ontvangen ervan door de ontvanger, kan de positiebepaling sterk afwijken wanneer het signaal niet rechtstreeks de ontvanger bereikt, maar daarvoor op gebouwen, bomen etc. weerkaatst.

De gemiddelde nauwkeurigheid van GPS ligt rond 5m (National Coordination Office for Space-Based Positioning Navigation and Timing, 2017a). Deze nauwkeurigheid is onvoldoende voor precisielandbouwtoepassingen. Daarom wordt voor precisielandbouw gebruik gemaakt van correctiesystemen die onder de term differentiële GPS-systemen (dGPS) vallen. Deze correctiesystemen maken gebruik van een tweede ontvanger, een referentiestation (*base*) genoemd, naast deze die zich in de tractor of in de drone (de *rover* genoemd) bevindt. Referentiestations zijn verspreid over het aardoppervlak en corrigeren voor fouten in de positiebepaling door het GPS-systeem. Dit doen ze door continu hun exacte locatie met de door GPS geschatte locatie te vergelijken. De *rover* ontvangt deze correctie van het dichtstbijzijnde referentiestation en kan zo zijn door GPS bepaalde locatie corrigeren. De nauwkeurigheid van dGPS-systemen ligt daardoor veel hoger (<1m tot 1cm). De hoogste nauwkeurigheid wordt verkregen wanneer de ontvanger zich dicht bij het referentiestation (<20km afstand) bevindt. De meest nauwkeurige vorm van dGPS die in precisielandbouw meer en meer wordt gebruikt is RTK-GPS. Vlaanderen heeft zijn eigen RTK-GPS-netwerk, onder de naam FLEPOS (FLEmisch POSitioning service), dat bestaat uit 37 referentiestations verspreid over heel Vlaanderen (Informatie Vlaanderen, 2018). In Wallonië wordt een analoge RTK-GPS service aangeboden onder de naam WALCORS (Direction de la Géométrologie, z.d.).

5.3.2 Effect van hoogspanningslijnen op GNSS

Het effect van de hoogspanningslijn kan zowel worden veroorzaakt door verstoring van het signaal door het elektromagnetisch veld, als door de fysieke aanwezigheid van de bovengrondse hoogspanningslijn.

De radiofrequentie die wordt gebruikt om het signaal tussen de satelliet en de ontvanger door te zenden, verschilt tussen de verschillende GNSS-systemen. GPS maakt gebruik van 1575,42MHz (de L1-frequentie) en 1227,60MHz (de L2-frequentie) (Silva & Olsen, 2002). De L1-frequentie is de oudste en meest wijd verspreide frequentie waarop GPS-signalen werden verzonden. De L2-frequentie werd later gebruikt omdat deze voor snellere signaaloverdracht zorgt. Omdat de L2-frequentie recenter is, is ze nog niet overal beschikbaar. Daardoor worden L1 en L2 meestal gecombineerd in *dual frequency* systemen, die minder gevoelig zijn voor storingen door grote objecten als gebouwen, bomen etc. Een nieuwe frequentie (1176MHz, L5 genoemd) staat momenteel nog in haar kinderschoenen en zou binnenkort beschikbaar worden voor gebruik door burgers. Door L1, L2 en L5 te combineren zou men in de toekomst ook zonder dGPS-correctie een precisie van minder dan 1m kunnen bekomen (National Coordination Office for Space-Based Positioning Navigation and Timing, 2017b). Ook de in Europa meest gebruikte dGPS-systemen, zoals EGNOS en FLEPOS, maken gebruik van frequenties hoger dan 1GHz voor het doorgeven van correctiesignalen aan de rovers (ESA, 2018; Informatie Vlaanderen, 2018). Correctiesignalen worden, bijvoorbeeld binnen het FLEPOS-netwerk, ook steeds vaker via NTRIP verzonden. NTRIP staat voor "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol" en is een internationale standaard, waarbij correctiesignalen via

internet worden verzonden. Op het mobiele dataverbruik na, laat NTRIP de gebruiker toe om kosteloos correctiesignalen te ontvangen via mobiel internet (vb. via 3G of 4G) (Vlaamse Overheid, z.d.).

Door de hoge frequenties die voor het verspreiden van GNSS- en dGPS-signalen worden gebruikt, kan het EMV van de hoogspanningslijn niet met deze signalen interfereren. Een studie van Silva & Olsen (2002) wijst uit dat GPS-signalen niet door het EMV van hoogspanningslijnen kunnen worden beïnvloed, ook niet in situaties met corona- of gapontlading. In een ander onderzoek van Silva (2002) werd de mogelijke verstoring van dGPS-correctiesignalen van lage frequentie (283,5–325 kHz) door het EMV van hoogspanningslijnen onderzocht. Uit dit onderzoek werd besloten dat dergelijke laagfrequente dGPS-signalen in situaties met corona- en gaponlading kunnen worden verstoord. De huidige dGPS-systemen werken echter met hoogfrequentere signalen (>1Ghz) waardoor er nagenoeg geen kans op verstoring is door interferentie. In een rapport over de landbouwkundige gevolgen van een 380kV-hoogspanningsmijn in Noord-Holland (van Reeuwijk et al., 2011) wordt echter aangegeven dat leveranciers van GPS-apparatuur reeds klachten kregen van landbouwers die in de buurt van hoogspanningslijnen werken. De klachten zouden het meest voorkomen bij mistig weer. Dit zou erop kunnen wijzen dat corona-ontlading, die voornamelijk voorkomt bij mistig weer, in uitzonderlijke gevallen toch voor verstoring van dGPS-signalen kan zorgen. In een rapport van Agro Consultancy (2016) over de impact van een nieuwe hoogspanningslijn wordt aangegeven dat het nog onvoldoende onderzocht is of corona ontladingen effect hebben op GNSS-signalen. Verder onderzoek naar de oorzaak van deze problemen is daarom vereist.

De grootste impact van hoogspanningslijnen op GNSS is de fysieke aanwezigheid van de lijn (Agro Consultancy, 2016; Kooistra et al., 2014). Wanneer de fasedraden, aardkabel of mast zich tussen de ontvanger en de satelliet bevinden, reflecteren deze immers het satellietsignaal, waardoor dit de ontvanger niet of met vertraging bereikt. Wanneer het satellietsignaal de ontvanger met vertraging bereikt, leidt dit tot een foutieve positiebepaling, aangezien de positie wordt afgeleid uit het tijdsverschil tussen het verzenden van het satellietsignaal en het ontvangen ervan door de GNSS-ontvanger. In goede omstandigheden kan een ontvanger het signaal van 8 à 13 satellieten ontvangen, waardoor het wegvallen van 1 satellietsignaal niet meteen voor het wegvallen van de navigatie zorgt (werking van GNSS vereist 4 satellieten) (Zhang et al., 2020). Onder een hoogspanningslijn kan het echter gebeuren dat het signaal van meerdere satellieten tegelijk wegvalt of vertraagd de ontvanger bereikt, doordat de fasedraden, aardkabel of mast het signaal reflecteren. In zo'n geval kan GNSS-navigatie tijdelijk wegvallen of sterk afwijken. In een studie waarin het effect van DC-hoogspanningslijnen (*direct current* - gelijkstroom) op verschillende types GNSS-ontvangers werd onderzocht, ging men ook de impact van de fysieke aanwezigheid van de lijn na (Bancroft et al., 2016). In de studie werd vastgesteld dat het GNSS-signaal iets vaker wegvalt onder de hoogspanningslijn dan op open veld. Het effect van bomen die aan de rand van het proeftraject stonden, was hierbij echter veel groter dan dat van de hoogspanningslijn. Het wegvallen van het signaal kon in de door hen uitgevoerde proeven zo snel terug worden gecompenseerd dat er geen afwijking in de navigatie plaatsvond. Nabij de hoogspanningsmast is het bij aanvang van de navigatietoepassing dus belangrijk om te wachten tot er voldoende satellieten in een voldoende verspreide configuratie zichtbaar zijn voor de GNSS-ontvanger. Bij moderne GNSS-ontvangers kan ook worden ingesteld dat satellieten van meerdere constellaties (vb. GPS en GLONASS) worden ontvangen. Dit zorgt ervoor dat meer en meer verspreide satellieten zichtbaar zijn en kan zo voorkomen dat navigatie nabij een hoogspanningslijn wordt verstoord (Agro Consultancy, 2016; EMFs Info, z.d.).

Ook correctiesignalen kunnen worden gereflecteerd. Dit resulteert in het wegvallen van de dGPS-correctie en bijgevolg in een sterk verminderde precisie van de navigatie. Wanneer deze signalen via radiogolven rechtstreeks vanuit het referentiestation naar de ontvanger worden verzonden, treedt reflectie op wanneer de mast van de hoogspanningslijn zich tussen het referentiestation en de ontvanger bevindt (Parkinson & Enge, 1996). Wanneer gebruik wordt gemaakt van NTRIP (via het mobiele netwerk) kan het signaal op de hoogspanningsmast reflecteren als die zich tussen de

ontvanger en de cellulaire mast, waarmee de ontvanger op dat moment geconnecteerd is, bevindt (Nahas, 2012).

Hoewel in de praktijk wel al een probleem met het wegvallen van correctiesignalen op landbouwpercelen onder hoogspanningslijnen werd gemeld (pers. communicatie Elia, 28/04/2020), konden hierover geen studies worden teruggevonden. Uit contact met verdelers van tractoren van New Holland (pers. communicatie Verschueren bvba, 06/11/2020) en John Deere (pers. communicatie Cofabel, 05/11/2020) bleek dat de verminderde precisie van navigatie nabij hoogspanningslijnen een gekend probleem is. Hoewel dit probleem in theorie door het plaatsen van extra RTK-basisstations kan worden verholpen, wordt deze oplossing in de praktijk nooit toegepast, omwille van de kostprijs en de praktische haalbaarheid. De verdelers gaven aan dat landbouwers zich bij dit probleem neerleggen en dat ze er door hun ervaring met de navigatie op het perceel mee om kunnen gaan, bijvoorbeeld door het GPS-systeem op dit deel van het perceel uit te schakelen. Dit houdt echter wel in dat bepaalde precisietechnologie, zoals automatisch sturen, zaaien, schoffelen, bemesten of het nauwkeurig georefereren van data, in een specifieke zone op het perceel niet kan worden gebruikt, aangezien een erg nauwkeurige navigatie van cruciaal belang is bij deze toepassingen.

Discussie en conclusie GNSS

GNSS en dGPS ondervinden in normale omstandigheden geen hinder van het EMV van de hoogspanningslijn. De signalen kunnen echter wel door de mast, de fasedraden of de aardkabel worden gereflecteerd met het tijdelijk wegvallen van het GNSS-signaal of wegvallen van dGPS-correctie, en daaraan gekoppeld verlies van nauwkeurigheid, tot gevolg. Reflectie van GNSS-signalen kan voorkomen worden door te wachten tot de ontvanger voldoende satellieten detecteert en zou zo kortstondig voorkomen dat het navigatie onder hoogspanningslijnen zelden beïnvloedt. Ook het wegvallen van correctiesignalen kan voorkomen en werd in de praktijk al geobserveerd, maar volgens ons literatuuronderzoek werden hierrond nog maar weinig studies uitgevoerd. Omwille van de grote impact van het verlies aan nauwkeurigheid bij navigatie voor precisielandbouwtoepassingen, is dit dus een belangrijk aandachtspunt. Uit navraag blijkt echter dat landbouwers hier door hun ervaring met de navigatie op het perceel mee om kunnen gaan, bijvoorbeeld door in de zone met verminderde precisie van de navigatie de GPS uit te schakelen. Dit houdt echter wel in dat bepaalde precisietechnologie, zoals deze voor automatisch sturen, zaaien, schoffelen, bemesten of het nauwkeurig georefereren van data, in een specifieke zone op het perceel niet kan worden gebruikt, aangezien een erg nauwkeurige navigatie van cruciaal belang is bij deze toepassingen.

5.4 Effect van hoogspanningslijnen op sensorcommunicatie

Communicatie tussen verschillende modules gebeurt bij moderne landbouwmachines via seriële datacommunicatie. De connectie tussen tractor en werktuig gebeurt via het ISOBUS-systeem. Dit is een gestandaardiseerde versie van een CAN-bus (Controlled Area Network), die bekend staat voor zijn ongevoeligheid voor verstoringen door een EMV (Corrigan, 2002). De hoogspanningslijn vormt dus geen probleem voor CAN- en ISOBUS-communicatie.

Het verzamelen van data is een erg belangrijke aspect van precisielandbouw. Via weerstations en vocht-, temperatuur-, neerslag- en instralingssensoren in de bodem kan de landbouwer de variabele condities op het veld zowel in ruimte als in tijd in kaart brengen. Om al deze data te verzamelen en samen te brengen, zijn er draadloze sensornetwerken nodig. Deze netwerken werken o.b.v. radiogolven met een middelhoge tot hoge frequentie. Een overzicht van de beschikbare draadloze communicatiesystemen en hun bijhorende frequenties is gegeven in Tabel 6. Door het grote verschil in frequentie tussen het EMV van de hoogspanningslijn en de frequenties gebruikt door draadloze communicatiesystemen is er geen gevaar voor verstoring van communicatie door

elektromagnetische interferentie nabij een hoogspanningslijn. Wel kunnen de signalen op de hoogspanningsmast weerkaatsen, waardoor het signaal onderbroken kan worden. Dit probleem kan echter worden opgelost door de sensor op een andere locatie op het perceel in de bodem te plaatsen, zodat de mast het signaal niet langer reflecteert.

Tabel 6: Frequenties gebruikt door draadloze communicatiesystemen en de impact van de hoogspanningslijn.

	Frequentie (MHz)	Beïnvloed door hoogspanningslijn?	Bron
GSM/GPRS	900-1800	Nee	(Erlinghagen et al., 2015)
UMTS	2110-2170 1920-1980	Nee	(Erlinghagen et al., 2015)
3G	900-2100	Nee	(Kroes, 2011)
4G LTE	900-1800	Nee	(Kroes, 2011)
5G	700/3500/26000	Nee	(Europese Commissie, 2019)
BLUETOOTH	2400	Nee	(Mahmood et al., 2015)
WIFI	2400	Nee	(Mahmood et al., 2015)
ZIGBEE	869/915 en 2400	Nee	(Mahmood et al., 2015)
LORA	868 -900	Nee	(Aras et al. 2017)

Discussie en conclusie sensorcommunicatie

Sensorcommunicatie wordt niet beïnvloed door hoogspanningslijnen. Signaalinterferentie vindt niet plaats nabij een hoogspanningslijn, maar signalen kunnen wel op de mast van de lijn worden weerkaatst.

5.5 Samenvattende tabel

Tabel 7: Samenvattende tabel impact op technologie

	Toepassing	Hinder door hoogspanningslijn?
Remote sensing platformen	Satelliet	Nee
	Tractor	Nee*
	UAV	Ja. Mogelijk problemen met navigatie en met het volledig in kaart brengen van een veld aan voldoende hoge resolutie.*
Remote sensing sensoren	RGB-camera's, hyperspectrale, multispectrale camera's	Nee*
	Thermale camera's	Nee*
	Lidar-scanner	Nee*
	Microgolfsensor	Nee*
Proximal sensing sensoren	RGB-camera's, hyperspectrale, multispectrale camera's	Nee*
	Thermale camera's	Nee*
	Microgolfsensor	Nee*
	Elektrische resistiviteitsensoren	Nee*
	GPR	Nee*
	EMI	Ja*
Navigatie	GNSS	Mogelijk, door weerkaatsing van het signaal op de mast.*
	dGPS	Mogelijk, door weerkaatsing van het signaal op de mast. *
(Sensor)communicatie	ISOBUS/CAN-bus	Nee
Draadloze communicatie	GSM/GPRS	Nee
	UMTS	Nee
	4G LTE	Nee
	Wifi	Nee
	Bluetooth	Nee
	Zigbee	Nee
	LORA	Nee

* Bij elektronica zijn problemen met elektromagnetische compatibiliteit (EMC) dicht bij de lijn nooit helemaal uitgesloten. De kans dat deze problemen optreden is echter klein.

Hoofdstuk 6. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op plantaardige productie

Land- en tuinbouwers zitten met een breed spectrum aan bezorgdheden en vragen aangaande de effecten van hoogspanningslijnen op hun landbouwactiviteiten. De vragen richten zich op de vrees voor opbrengstdaling, toename in onkruiden, plantenziekten en –plagen, negatieve effecten voor bestuivers, warmteproductie en beïnvloeding van de grondwaterhuishouding door ondergrondse verbindingen, drupschade en ijsval, zinkvervuiling en (blijvende) structuurschade, en impact op drainage bij aanleg. Deze brede set bezorgdheden werd gebruikt als basis om van daaruit doelgericht te zoeken naar wetenschappelijke literatuur over de voorkomende effecten.

Om een overzichtelijke samenvatting te kunnen geven van de in literatuur beschreven effecten, wordt hier een opdeling gemaakt in vijf categorieën:

1. Gevolgen voor het teeltoppervlak, gewasproductiviteit en de bodem;
2. Effecten van het gecreëerde elektromagnetisch veld op gewasproductiviteit;
3. Effecten op de aanwezigheid van nuttige insecten, zoals bestuivers en natuurlijke predatoren;
4. Effecten op de aanwezigheid van plagen, fytopathogenen en onkruid;
5. Secundaire effecten zoals drupschade, ijsval, zinkvervuiling & botulisme door dode vogels.

6.1 Teeltoppervlak, gewasproductiviteit en bodem

6.1.1 Aanwezigheid hoogspanningslijnen

6.1.1.1 Bovengrondse verbindingen

<u>Afname teeltoppervlak</u>

De permanente aanwezigheid van de mastvoeten van bovengrondse hoogspanningslijnen heeft een vanzelfsprekende invloed op het teeltoppervlak. De mastvoeten zullen bij het Ventilus-project per mast ongeveer 200 à 250m^2 aan het teeltoppervlak onttrekken (pers. communicatie Elia, 13/05/2020), waardoor de opbrengsten van het perceel ook evident zullen afnemen (van Reeuwijk et al., 2011). Het tijdelijke verlies van teeltoppervlak tijdens de aanleg wordt besproken in *6.1.2 Aanleg hoogspanningslijnen*.

Daarnaast vormt de mast ook een obstakel bij het bewerken van het perceel. Het bewerkingspatroon zal hoe dan ook wijzigen door de nieuwe perceelinrichting (Agro Consultancy, 2016; Zhou, 2015). Zo ontstaan er extra omkeerpunten rondom de mast (Figuur 5). Deze extra handelingen zorgen niet enkel voor tijdverlies, maar veroorzaken ook een verhoogd structuurbederf binnen deze nieuwe kopakkers (Håkansson et al., 1996). Deze zones worden immers langer en meer bereden tijdens bewerkingen en daarbij komt ook een grotere last op de tractorbanden te liggen bij het opheffen van de machinewerktuigen tijdens het omkeren, wat op zijn beurt leidt tot een verhoogde druk op de bodem (Hakansson, 2005).

Figuur 5. Geometrische voorstelling en visualisatie van de routeplanning voor een perceel met een obstakel. Rondom het obstakel worden extra omkeerpunten noodzakelijk en hierdoor wordt deze zone een nieuwe kopakker (Zhou, 2015).

Bij sommige toepassingen, voornamelijk met grote en brede landbouwmachines, wordt omrijden een noodzaak om de mast niet te raken. Hierdoor kunnen extra rijpaden ontstaan in het gewas en wordt het ingewikkelder om een efficiënte veldroute uit te stippelen zonder dubbel te spuiten of te bemesten. Dit is voornamelijk een probleem als de tractor niet uitgerust is met GPS. De mast kan ook zo gesitueerd zijn in het perceel dat een smalle strook niet meer toegankelijk is voor de beschikbare machines en daardoor niet meer beteeld kan worden (van Reeuwijk et al., 2011). Deze situatie wordt zo veel mogelijk vermeden door de mast, waar mogelijk, aan de rand van een perceel te plaatsen. Dit is mogelijk doordat er een zekere flexibiliteit is bij het plaatsen van de mast (pers. communicatie Elia, 19/05/2020).

Veiligheidsrisico

Bij sommige landbouwpraktijken kan een veiligheidsrisico ontstaan in de directe omgeving van de hoogspanningslijn. Zo is het essentieel dat er rekening wordt gehouden met de minimale doorrijhoogte (standaard 5m) en bijhorende veiligheidsmarges van de specifieke hoogspanningslijn bij het laden van stro met een verreiker of voorlader (van Reeuwijk et al., 2011). Deze machines kunnen een hefhoogte hebben tot ongeveer 9m (New Holland, z.d.), maar bij het laden op het veld zal de stapelhoogte meestal gaan tot 5m (vier grote balen stro met 70 - 90cm hoogte, geladen op een kar van 100 - 150cm hoogte) (fourages, z.d.). Ook bij beregening kan er een veiligheidsrisico zijn. Dit risico is sterk afhankelijk van het perceel en van het gebruikte beregeningssysteem. Hierbij moet men voornamelijk letten op de gebruikte druk, spuithoek, hoogte van de spuitmond en materiaal van de beregeningsinstallatie. In Nederland wordt aangegeven dat een beregeningskanon waarschijnlijk niet kan gebruikt worden onder de hoogspanningslijn, een beregeningsboom, die neerwaarts sproeit, daarentegen wel. Al is de uiteindelijke beslissing situatieafhankelijk (van der Vliet, 1981). In België worden overwegend beregeningskanonnen gebruikt in de akkerbouw en vollegrondgroenteteelt. De bespuitingshoogte van deze systemen gaat zeer makkelijk boven de veiligheidshoogte van 5m en gaat vaak zelfs tot 15m (Ewy et al., 1981). Er bestaan systemen waarbij de hellingshoek makkelijk aangepast kan worden om onder de lijn te blijven, maar deze worden in de praktijk weinig toegepast (pers. communicatie Bodemkundige Dienst van België, 18/06/2020). Daarnaast vormt de mast ook een direct obstakel voor de beregeninginstallatie, waardoor het vaker verplaatst zal moeten worden om het hele perceel van water te voorzien. Indien de mast smalle stroken afschermt ten opzichte van de rest van het perceel, kan het zijn dat de installatie daar niet toegepast kan worden. Dit kan op zijn beurt leiden tot verminderde gewasopbrengst en/of -kwaliteit door droogtestress (van Reeuwijk et al., 2011). Net als beschreven in de vorige sectie kan deze situatie in de praktijk meestal vermeden worden door de flexibiliteit bij het ontwerpen en plaatsen van de masten (pers. communicatie Elia, 19/05/2020).

Landschappelijke integratie

Een andere wijze waarop de aanwezigheid van een bovengrondse hoogspanningslijn het teeltoppervlak zou kunnen beïnvloeden is door eventuele landschappelijke integratie na aanleg. Hierbij worden groenschermen (bomen, struiken of hagen) aangeplant om de hoogspanningslijn zo veel mogelijk aan het zicht te onttrekken. Deze maatregel zou tot een verlies in teeltoppervlak kunnen leiden voor percelen in de nabijheid van hoogspanningslijnen, al wordt deze enkel uitgevoerd waar de eigenaar, gebruiker of beheerder zich akkoord mee verklaart. Indien bomen geplant worden in deze zones, heeft dit ook een effect op de nabijgelegen gewassen. De bomen en de gewassen maken immers gebruik van dezelfde hulpbronnen, voornamelijk licht, water en nutriënten, voor hun groei en ontwikkeling (Thevathasan & Gordon, 2004). Doorgaans zal deze competitie leiden tot een reductie in opbrengst, al is de afname sterk afhankelijk van het geteelde gewas (Nelissen et al., 2017).

6.1.1.2 Ondergrondse verbindingen

Afname teeltoppervlak

Bij ondergrondse verbindingen is de permanente invloed op het teeltoppervlak minder uitgebreid en opvallend. Toch zijn er bij deze kabels ook oppervlaktes die permanent aan het teeltoppervlak onttrokken worden. Het gaat hier dan over afgeschermde inspectieputten (Figuur 3). Deze putten worden ongeveer elke kilometer aangelegd waar twee opeenvolgende kabelstukken verbonden of 'vermoft' worden. De putten doen dienst als beheers- en onderhoudspunten van de hoogspanningslijn en worden, waar mogelijk, zo dicht mogelijk bij de perceelrand geplaatst. Bij ondergrondse lijnen is de speelruimte echter kleiner dan bij masten (Ventilus, z.d.). Elke zone bevat meerdere inspectieputten. Rondom deze structuren wordt een omheining geplaatst, met een oppervlakte van ongeveer 15x15m. De gevolgen van deze onttrokken zone op bewerkingen en toepassingen is sterk vergelijkbaar met de gevolgen reeds beschreven voor masten (*6.1.1.1 Bovengrondse verbindingen*).

Veiligheidsrisico

Aangezien ondergrondse hoogspanningsverbindingen op ongeveer 2m diepte worden geplaatst, vormen deze geen risico voor normale landbouwpraktijken op akkerbouw-, groente- of graslandpercelen. Diepwortelende vegetatie is echter niet toegelaten in de zone boven ondergrondse verbindingen.

Temperatuureffect

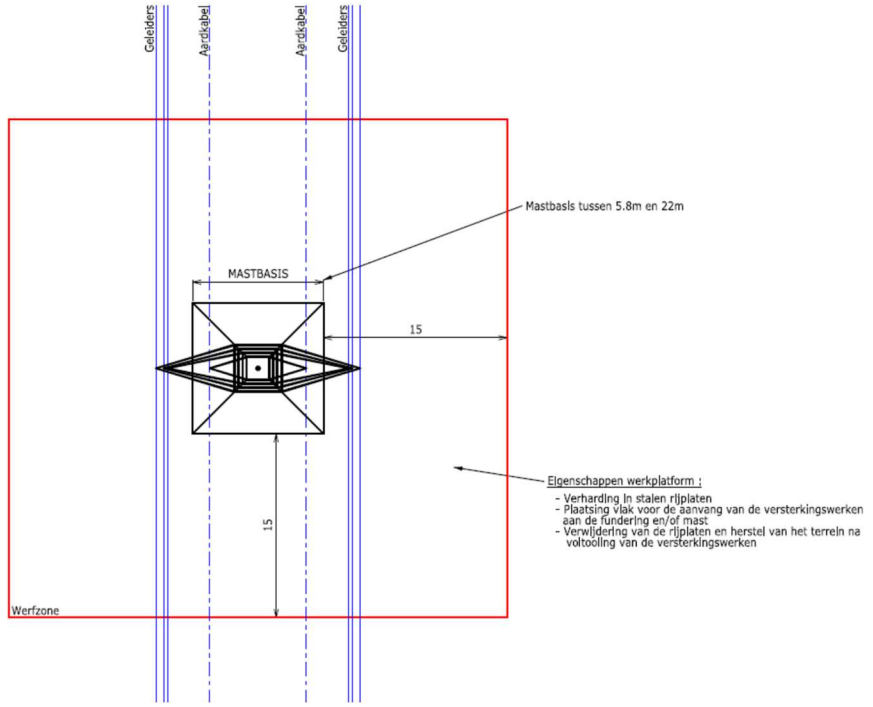
Ondergrondse verbindingen gaan ook gepaard met warmte-emissie. Truby (2018) voerde een uitgebreide studie uit naar de invloed van de warmte-emissie van ondergrondse kabels op de bodem en gewasproductiviteit. Hiervoor werden drie proeven, verspreid over Duitsland, opgevolgd. Twee proeven keken naar de invloed van 110kV verbindingen. De derde proef, opgestart in 2016 en bij het uitschrijven van het rapport nog steeds lopende, onderzoekt de invloed van een 380kV verbinding (vergelijkbaar met het Ventilus-project) in een plaggenbodem. De 110kV verbindingen werden getest bij de technisch maximale belasting, de ontwerpbelasting. Bij de 380kV verbinding varieerde de belasting continu met een gemiddelde belasting van 26% ten opzichte van de ontwerpbelasting en 55% als kortstondig maximum. Bij deze proeven werd vastgesteld dat het temperatuureffect, zelfs bij langdurige ontwerpbelasting, zich voornamelijk in de onderste bodemlagen of de kabelbedding, rond 1,5 -2,0m diepte, zal laten gelden. De gemeten temperatuurstijging in deze lagen ging tot maximaal 20°C bij de 110kV verbindingen met langdurige ontwerpbelasting. Volgens Truby (2018) zal zelfs deze maximale stijging, die in de praktijk weinig tot niet zal voorkomen en ook niet gemeten werd bij de proef met de 380kV verbinding, van ondergeschikt belang zijn voor de bodemecologie. Bij de bodemlagen aan de

oppervlakte (0-20cm diepte) loopt de temperatuurstijging onder dezelfde belasting gemiddeld op tot 3°C onmiddellijk boven de geleider. Dit effect zwakt snel af zodra de laterale afstand tot de geleiders groter wordt. Een vergelijkbare, beperkte toename werd ook waargenomen bij de ondergrondse kabels van het Deense windpark Horns Rev1 (Rassmus et al., 2009). Deze warmtetoevoer leek bij Truby (2018) geen impact te hebben op het vochtgehalte in de bodem. In de onderzochte proeven reageerde de vochttoestand van de bodem in de eerste plaats op de weersomstandigheden, niet zozeer op de extra warmtetoevoer. Ook werd er geen negatieve impact waargenomen voor gewasontwikkeling en -opbrengst bij aardappelen, maïs, wintertarwe, gerst en rapen. Deze gewassen werden over verscheidene jaren geteeld boven een 110kV verbinding met naast het kabeltracé ook een controleperceel. De eerste drie jaren werden opeenvolgend aardappelen, maïs en tarwe geteeld bij een ontwerpbelasting. Vervolgens werden gerst, rapen en aardappelen geteeld op het proefperceel bij een belasting onder reëel netgebruik. Gelinkt aan de uitgebleven negatieve impact op gewassen vond er ook geen toename in pathogene organismen of insecten plaats. Het bodemleven wordt ook niet verwacht significant beïnvloed te worden door de warmte-emissie. De herkolonisatie van regenwormen en ander bodemleven, zoals mollen, vond onverstoord plaats in de bodem boven de ondergrondse hoogspanningsverbindingen.

6.1.2 Aanleg hoogspanningslijnen

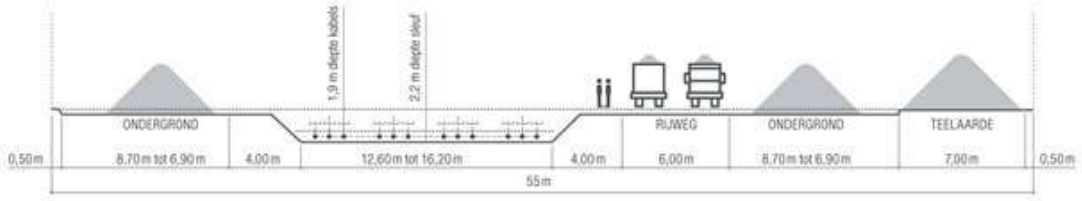
6.1.2.1 Afname teeltoppervlak en beschrijving aanleg

Naast de permanente effecten hebben hoogspanningslijnen ook een tijdelijke impact op het teeltoppervlak. De aanleg van de lijnen zorgt ervoor dat een aanzienlijk oppervlakte tijdelijk niet beteeld kan worden. Bij bovengrondse hoogspanningslijnen bevindt de werfzone zich ongeveer 15m rondom de mastvoet. Alle werkzaamheden worden binnen deze zone uitgevoerd (Figuur 6). Tijdens de werkzaamheden wordt de werfzone verstevigd met metalen rijplaten of steenslag ter preventie van schade aan de bodemstructuur. Daarnaast kan ook een aanvoerweg naar de werfzone van circa 5m breed onttrokken worden aan het teeltoppervlak, wat gebeurt als de werken niet naast een bestaande weg plaatsvinden. Ook deze aanvoerweg wordt gebruikelijk verstevigd met houten rijschotten, rijplaten of steenslag. Op een aantal locaties worden ook werfdepots ingericht. Deze locaties dienen voor opslag van materiaal, kabelhaspels, installatie van bureaucontainers, afvalcontainers, enz. Voor deze werfdepots wordt eerst nagezien of er bestaande (leegstaande) verharde sites in de buurt van de werken gehuurd kunnen worden. Indien dit niet mogelijk is, dient een terrein ingericht te worden als werfdepot. Hier zal teelaarde afgegraven worden waarna een bitumendoek aangebracht wordt met daarop een laag steenslag. De werfdepots worden best in de buurt van het lijntraject ingericht zodat hinder voor omwonenden geminimaliseerd wordt. De nabijheid van bestaande wegenis is belangrijk zodat het gemakkelijk te bereiken is (Arcadis, 2017).



Figuur 6. Schematische weergave van werfzone van 15m (rood) rond elke mast (zwart) (Arcadis, 2017)

Ondergrondse verbindingen vereisen een veel uitgebreidere werfzone, aangezien heel het tracé uitgegraven moet worden. Deze werfzone kan worden opgedeeld in de kabelbedding, een rijweg en aparte zones om de aarde van de ondergrond en de teeltaarde afgescheiden te kunnen bewaren (Figuur 7) (Stevin, z.d.-b). Bij het Stevin-project was de werfzone ongeveer 55m breed, waarvan 12 tot 17m wordt ingenomen door de kabelsleuf. Voor het Ventilus-project zal dit nog breder uitvallen, want bij deze 380kV-verbinding zal een sleuf van 20 tot 24m breed worden uitgegraven (Vlaamse overheid, 2019). De bodem van de open sleuf krijgt een gecontroleerde thermische aanaarding (vb. dolomietbedding). Dit materiaal zorgt voor de goede afvoer van de warmte die de (geïsoleerde) hoogspanningskabels produceren. Vervolgens worden de hoogspanningskabels getrokken. Bovenop de kabels wordt een tweede laag gecontroleerde thermische aanaarding voorzien met dezelfde warmte-afvoerende functie. Daarbovenop komen beschermingstegels in polyethyleen te liggen (Figuur 8). Vervolgens wordt de sleuf verder aangevuld met de uitgegraven gronden met respect voor het onderscheid tussen de ondergrond en de teelaarde. De aanvulling gebeurt in verschillende lagen die telkens aangedamd worden. Tijdens deze werken worden in de grond waarschuwingsnetten geplaatst. Nadien wordt het terrein terug in oorspronkelijke staat hersteld met uitzondering van het terugplaatsen van bomen en diep wortelende struiken. Net zoals bij bovengrondse hoogspanningslijnen worden ook bij ondergrondse verbindingen aanvoerwegen en werfdepots aangelegd met aandacht voor het vermijden van bodemschade door het leggen van steenslag of rijplaten. Kleine werfdepots zullen ingericht worden binnen de voorziene werkzone. Deze kleine werfdepots verschuiven mee met de voortgang van de werken (pers. communicatie Elia, 7/07/2020).



Figuur 7. Werfzone van een ondergrondse 380kV-verbinding (Stevin, z.d.-b)

Figuur 8. Open sleuf van een ondergrondse 380kV-verbinding (bron: Elia)

6.1.2.2 Effecten van berijding

De effecten van de aanleg beperken zich echter meestal niet enkel tot de periode van de werkzaamheden zelf. Zo wordt de bodemstructuur van de kabelsleuf vernietigd door het uitgraven van het volledige profiel. Hierbij is het wel voordelig voor de bodemkwaliteit en -vruchtbaarheid dat de ondergrond en teeltaarde niet gemengd worden tijdens de werkzaamheden (De Jong & Button, 1973; Rassmus et al., 2009). Maar het is niet enkel het kabeltracé zelf dat een negatieve impact kan ondervinden tijdens de aanleg. De volledige werfzone wordt immers bereden door zeer zware machines die een grote druk op de bodem plaatsen en zo tot diep in de ondergrond bodemverdichting kunnen veroorzaken. Deze impact is niet altijd duidelijk waar te nemen aan het oppervlak, maar dat maakt niet dat de gevolgen, zowel voor landbouw als voor de omgeving, insignificant zullen zijn (FAO, 2016; Hamza & Anderson, 2005; Tim Chamen et al., 2015). Het risico op bodemverdichting is afhankelijk van de bulkdichtheid, vocht-, klei- en organische stofgehalte. Het risico neemt toe met toenemend vocht- en kleigehalte en neemt af met toenemende bulkdichtheid en organische stof (Horn & Peth, 1993; Schjonning & Lamandé, 2020).

Er werd geen literatuur gevonden over studies die specifiek keken naar de gevolgen van de aanleg van hoogspanningslijnen op de bodemstructuur. Wel zijn er verscheidene studies uitgevoerd naar de gevolgen van de aanleg van gaspijpleidingen. Aangezien deze werkzaamheden gelijkaardig zijn met de aanleg van ondergrondse hoogspanningslijnen, is ook de impact op de bodemstructuur waarschijnlijk vergelijkbaar. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat bij oudere studies de werkzaamheden niet altijd meer stroken met de huidige manier waarop hoogspanningslijnen aangelegd worden. Tegenwoordig is er meer aandacht voor bodem(kwaliteit). Zo wordt tegenwoordig de teelaarde en ondergrond apart afgegraven en strikt gescheiden en worden de werfzone en aanvoerwegen verstevigd met preventieve maatregelen zoals steenslag en rijplaten. Deze maatregelen worden in meer detail besproken in *6.1.2.3 Preventie van bodemverdichting*.

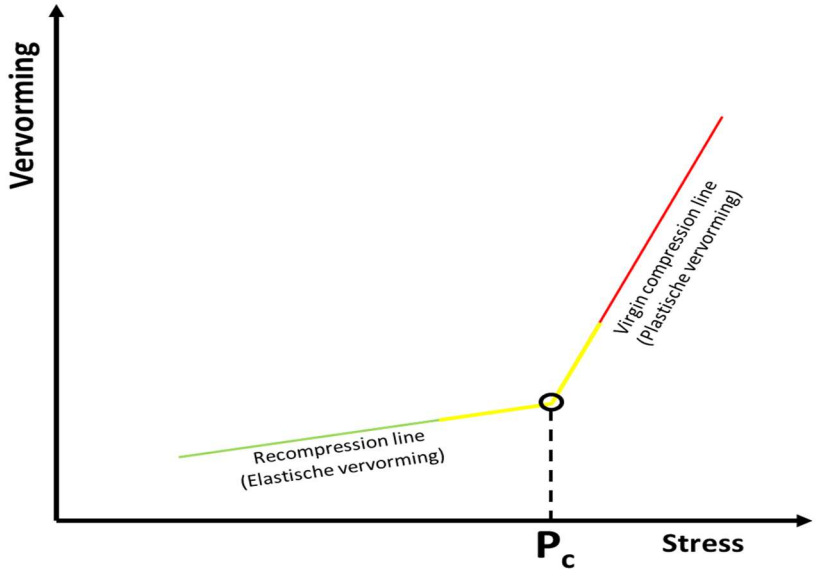
Tekeste et al. (2019) onderzochten de resulterende bodemverdichting bij een werfzone in de staat Iowa van de Verenigde Staten. De proef werd opgevolgd in een akkerbouwperceel dat behoort tot de klei textuurklasse. Het experiment deelde de werfzone op in vier verschillende stroken en een controle strook, die niet bereden werd tijdens de werken. De experimentele stroken binnen de werfzone bestonden uit de kabelsleuf, de opslagstrook voor ondergrond en twee bereden stroken die opgedeeld werden op basis van berijdingsintensiteit. De resulterende bodemverdichting werd bepaald aan de hand van de bulkdichtheid tot een diepte van 35cm (negen herhalingen per strook). De meeste stroken, buiten de opslagstrook, toonden een significante toename in bulkdichtheid tot en met de diepste metingen, al was er ook een duidelijk effect van berijdingsintensiteit waar te nemen. De bulkdichtheid ging in alle zones van de werf boven de drempelwaarde waarbij belemmering van wortelgroei optreedt bij kleibodems (1,55g/cm^3) en bij de meest bereden zones zelfs boven de bulkdichtheid waarbij inhibitie van wortelgroei optreedt (1,65g/cm^3) (Goldsmith et al., 2001; USDA, 1999). Bij deze resultaten is het belangrijk op te merken dat er geen sprake is van preventieve maatregelen, zoals rijplaten of steenslag, in de studieomschrijving.

Batey (2015) bracht de resultaten samen van meer dan 60 sites verspreid over het Verenigd Koninkrijk, tussen 1977 en 2012, waarbij de impact van de aanleg van gaspijpleidingen werd nagegaan. Uit de resultaten kwam naar voor dat de aanleg van de pijpleiding zeer vaak ernstige bodemverdichting veroorzaakte tot dieptes van 80cm, en af en toe zelfs nog dieper. De meeste problemen met bodemverdichting, bepaald aan de hand van bulkdichtheid en visuele evaluatie, werden vastgesteld bij gaspijpleidingen die in de jaren 70 werden aangelegd, en die bovendien waren gesitueerd in de natste regio's van het Verenigd Koninkrijk (Schotland en Noordoosten). Hieruit blijkt het belang van het vermijden van zware werkzaamheden onder vochtige bodemcondities en het positieve effect van de toegenomen aandacht voor bodem(kwaliteit) tijdens de afgelopen decennia bij de aanleg van ondergrondse nutsleidingen.

Ook in Canada werd een uitgebreide studie gedaan naar de lange termijn gevolgen van de aanleg van pijplijnen. Naeth et al. (1987) onderzocht verscheidene bodemfysische en -chemische parameters bij vijf aangrenzende pijplijnen in de prairie van de staat Alberta in Canada. De onderzochte bodems in de drie onderzochte sites langsheen de leidingen varieerden tussen de zandleem en klei textuurklassen. De pijplijnen waren geïnstalleerd in 1957, 1963, 1968, 1972 en 1981. De bovenste bodemlagen vertoonden een verlaagde organische stof en verhoogde zoutgehalte. Deze wijzigingen zijn waarschijnlijk veroorzaakt door het mengen met de aarde uit de ondergrond tijdens de werkzaamheden, wat nu niet meer toegestaan wordt. Een significant toegenomen bulkdichtheid werd waargenomen tot 55cm diepte bij de pijplijn uit 1981. Reeds aan het oppervlakte (1,60g/cm^3) wordt de drempelwaarde waarbij belemmering van wortelgroei optreedt bij kleibodems (1,55g/cm^3) overschreden. Dieper in de bodem (20 - 80cm diepte) werd ook de drempelwaarde waarbij inhibitie van wortelgroei optreedt (1,65g/cm^3) overschreden (Goldsmith et al., 2001; USDA, 1999). Ook bij de oudere pijplijnen was de bulkdichtheid nog significant hoger dan de controle, zelfs na drie decennia.

Berli et al. (2004) voerden een iets meer gecontroleerde studie uit op drie sites in noordelijk Zwitserland met textuur variërend tussen klei en zandleem. Deze studie onderzocht de bodemverdichting veroorzaakt door zware constructiemachines. Ze keken hiervoor naar de in bodemmechanica vaak aangewende parameter, precompressiestress, als waarde voor de bodemsterkte in de context van bodemverdichting (Figuur 9). Binnen de proef reden drie opeenvolgende constructiemachines over dezelfde sporen, zowel in een droge (-30 tot -100kPa bodemwaterpotentiaal) als in een kunstmatig bevochtigde (~-6kPa bodemwaterpotentiaal) zone. Na dit verkeer werden bodemstalen genomen tot 75cm diepte. Het resultaat was een significante toename in precompressiestress en dus meer samengedrukte bodem aan het oppervlakte (0 -

20cm) bij natte condities. De overige dieptes bij natte condities en alle dieptes bij droge condities toonden geen significante toename door verkeer. Een belangrijke les die te trekken valt uit deze studie, is het belang van de bodemcondities voor het risico op bodemverdichting. Het risico valt dus gedeeltelijk te beheren. Daarnaast is het ook wel nuttig om op te merken dat de druk op de bodem bij alle drie de gebruikte cmalkonstructiemachines nooit de in de praktijk vaak aangehaalde grenswaarde van 1kg/cm^2 (=draagkracht bodem) overschreed (Elsen et al. 2014). Bij hedendaagse landbouwkundige en constructievoertuigen is dit zeker niet altijd het geval (Keller et al., 2019).



Figuur 9. Concept van precompressiestress (Pc) als waarde voor de bodemsterkte in de context van bodemverdichting. Volgens de theorie gedraagt de bodem zich elastisch (Recompression line) bij een toename in stress tot een kritisch punt, de precompressiestress. Bij hogere stressen zal de vervorming plastisch/permanent (Virgin compression line) zijn. Dit houdt in dat bodemverdichting zal plaatsvinden bij stressen die de precompressiestress overstijgen (Horn & Peth, 1993). In de praktijk blijkt de transitie tussen elastische (groen) en plastische (rood) vervorming meestal niet te herleiden tot één duidelijk punt, maar eerder een geleidelijke overgang (geel) (Schjonning & Lamandé, 2020)

Bij deze problemen veroorzaakt door de werkzaamheden tijdens de aanleg, mag de eventuele verstoring of volledige doorsnijding van drainagesystemen zeker ook niet over het hoofd gezien worden. Herstelling of vernieuwing zullen waarschijnlijk nodig zijn na de werken (van Reeuwijk et al., 2011). Zoals eerder beschreven is dit des te belangrijk, aangezien een goede drainage van de bodem onontbeerlijk is om bodemverdichting door landbouwmachines duurzaam te voorkomen.

Er is geen literatuur voorhanden die het effect van zwaar landbouwverkeer bestudeert na de aanleg van hoogspanningslijnen. De verstoorde bodemstructuur, voornamelijk in de kabelsleuf, zou extra gevoelig kunnen zijn voor bodemverdichting door zware landbouwmachines. Maar hier zijn voorlopig geen conclusies over te trekken.

6.1.2.3 Preventie van bodemverdichting

Elia maakt tijdens de werkzaamheden gebruik van verscheidene preventieve maatregelen, zoals rijplaten, steenslag en het rekening houden met weersomstandigheden, om het risico op bodemverdichting te verlagen (Arcadis, 2017). De effectiviteit van verscheidene preventieve maatregelen tijdens constructiewerken werd reeds bestudeerd door Lichter & Lindsey (1994) in de Verenigde Staten. In deze proef werden zeven verschillende maatregelen vergeleken op een zandleembodem met een initiële bulkdichtheid van 1,42g/cm^3 in de bovenste 10cm van bodem, waarbij elke behandeling vijf keer herhaald werd. De maatregelen waren 15cm hakselhout, 15cm hakselhout bovenop een geotextiel, 15cm hakselhout over een plastieken raster, 10cm steenslag,

10cm steenslag bovenop een geotextiel laag, 1,9cm dikke multiplexplaten en een onbedekte bodem als controle. De 35 plots van de proef werden kunstmatig bevochtigd tot 23% vochtgehalte om de bodem extra gevoelig te maken voor verdichting. Daarna voerde een relatief kleinschalige voorlader (~6000kg totaalgewicht) acht passages uit over alle plots. De bulkdichtheid aan het oppervlak (0 - 10cm) werd opnieuw bepaald met twee herhalingen per plot. Alle maatregelen, buiten het gebruik van multiplexplaten, zorgden voor een significant verminderde toename (tot 1,51g/cm^3) in bulkdichtheid in vergelijking met de controle (tot 1,59g/cm^3). Tussen de maatregelen was er wel geen statistisch onderscheid vast te stellen. Dit betekent echter niet dat deze maatregelen kunnen beschouwd worden als een wondermiddel om alle verdichting te vermijden. Vermijden van werkzaamheden onder natte bodemcondities blijft de meest effectieve maatregel (Batey, 2015).

6.1.2.4 Persistentie en Remediatie

Zoals eerder al bij Naeth et al. (1987) vermeld werd, kan bodemverdichting onder de bouw voor decennia, tot zelfs semipermanent, een ernstig probleem blijven als er geen maatregelen worden getroffen voor remediatie (Alakukku, 1996; Berisso et al., 2013; Etana et al., 2013; Hakansson & Reeder, 1994; Schjønning et al., 2013). Een vaak aangewende remediatietechniek is diepwoelen. Deze diepe bewerking zal, indien uitgevoerd bij de correcte bodemvochtcondities, de verdichte bodemlagen tot idealiter 50cm diepte effectief kunnen wegwerken (Elsen et al., 2014). Indien de bodem nog dieper verdicht is geraakt tijdens de werken, zal diepwoelen dit probleem heel moeilijk kunnen oplossen. Daarnaast moet ook vermeld worden dat diepwoelen een zeer destructieve maatregel is voor de bodemstructuur. Dit kan ervoor zorgen dat de wortelgroei zelfs vermindert ten opzichte van de eerdere verdichte bodem door de suboptimale structuur (Munkholm et al., 2005). Ook is het risico op herverdichting tot diep in de ondergrond zeer hoog, doordat de bewerking de bodemsterkte ondermijnt (Elsen et al., 2014; Schjønning et al., 2015). Een meer duurzame oplossing kan geleverd worden door het groeien van diepwortelende groenbedekkers of meerjarige gewassen die verdichte diepe bodemlagen kunnen doorbreken (Abdollahi et al., 2014; Chen & Weil, 2009; Löfkvist, 2005; Pulido-Moncada et al., 2020; Uteau et al., 2013).

<u>Discussie en conclusie teeltoppervlak, gewasproductiviteit en bodem</u>

De gewasproductiviteit en de bodem kunnen een breed spectrum aan gevolgen ondervinden door de aanleg en aanwezigheid van hoogspanningslijnen.

Zowel bij bovengrondse als ondergrondse hoogspanningslijnen gaat een gedeelte van het teeloppervlak permanent verloren aan de mastvoet (200 - 250m^2) of de inspectieputput (225m^2). Daarnaast vormen de mast en inspectieputput ook een obstakel voor allerhande landbouwkundige toepassingen. Zo ontstaan er extra kopakkers, met het daaruit voorvloeiend structuurbederf, rondom de mast. De veldroutes worden minder efficiënt en mogelijk worden bepaalde smalle stroken zelf ontoegankelijk voor de teelt. Hier kan bij bovengrondse lijnen grotendeels aan tegemoet gekomen worden door de flexibiliteit om masten aan de rand van een veld te plaatsen.

Bij bovengrondse hoogspanningslijnen zijn er veiligheidsrisico's. Zo moet bij het laden en transporteren van stro gelet worden op de minimale doorrijhoogte (standaard 5m). Ook bij beregening zal rekening moeten gehouden worden met de hoogspanningslijn om veiligheidsrisico's te vermijden.
Ondergrondse verbindingen warmen de bodem, voornamelijk de ondergrond, op. Volgens de bestaande literatuur heeft deze warmte-emissie echter geen significante impact op de plantaardige productie en het bodem(leven).

Er is zeer weinig wetenschappelijke literatuur beschikbaar over de impact die de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen heeft op de bodem. Om toch een beeld te krijgen van deze impact werd gekeken naar literatuur over de aanleg van gaspijpleidingen die op veel vlakken vergelijkbaar zijn met de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen. De meest negatieve effecten werden waargenomen bij proeven die dateren uit de jaren '60, '70 en '80 toen nog geen aandacht geschonken werd aan de bodem(kwaliteit). De negatieve effecten kunnen zoveel mogelijk vermeden worden door aandacht voor (in volgorde van belang) bodemvochtgehalte bij aanleg en preventieve maatregelen, zoals metalen rijplaten en steenslag.
Drainagesystemen worden tijdens de aanleg meestal beschadigd of afgesneden. Om problemen in de toekomst te vermijden is een spoedig herstel van groot belang.
Over het effect van zwaar landbouwverkeer op de bodemstructuur na aanleg van ondergrondse verbindingen is geen wetenschappelijke literatuur beschikbaar.

6.2 Elektromagnetisch veld

De invloed van extreem laagfrequente elektromagnetische velden (ELF EMV) op gewasopbrengst en -kwaliteit werd reeds onderzocht in verscheidene studies en daarbij werd geen éénduidig effect vastgesteld: soms positief, soms negatief, maar meestal neutraal (Agro Consultancy, 2016; Biasotto & Kindel, 2018). Parsch & Norman (1986) onderzochten de impact van 500kV hoogspanningslijnen op verscheidene gewassen in de staat Arkansas in de Verenigde Staten. Verspreid over zeven percelen werden 120 plots katoen experimenteel geoogst, waarbij een onderscheid werd gemaakt tussen de zone onder de hoogspanningslijn, 60 plots, en de zone op 50m afstand ervan, 60 plots. Er werd een opbrengstdaling van 15% waargenomen voor de katoen geteeld onder de hoogspanningslijnen. Hierbij moet wel in rekening gebracht worden dat katoen in deze regio meestal vanuit de lucht met vliegtuigen besproeid wordt, een handeling die sterk gehinderd wordt door de aanwezigheid van hoogspanningslijnen. Dit kan dus ook de oorzaak zijn van de opbrengstdaling. In dezelfde studie werden geen significante opbrengstdalingen waargenomen voor rijst, sojabonen, tarwe en kafferkoren. Rijst is daarbij de enige andere lokale teelt waarbij besproeiingen met vliegtuigen worden uitgevoerd. Soja et al. (2003) voerden een uitgebreid onderzoek uit in Oostenrijk op een perceel waardoor een 380kV hoogspanningslijn (vergelijkbaar met het Ventilus-project) loopt. De bodem werd gekarakteriseerd als een kalkhoudende luvisol bodem en de textuur als zandleem. Het perceel werd in twee gelijke delen verdeeld, waarin gedurende vijf jaar afwisselend maïs en tarwe werden geteeld. Voor elk gewas werden op vier verschillende afstanden tot de verbinding (2, 8, 14 en 40m) telkens twaalf plots opgevolgd. Vier om de ontwikkeling van de gewassen bij te houden en de overige acht om de impact op de opbrengst vast te stellen. Bij de tarwe werd in elke plot 1,77m^2 geoogst en bij de maïs ging het telkens over vijftien planten. Er werd geen significante en eenduidige invloed van de afstand tot de verbinding waargenomen. Bij maïs werden geen effecten waargenomen, maar bij tarwe vond men een lichte trend ($P<0,10$) voor hogere opbrengst op grotere afstand van de kabels. Truby (2018) voerde, zoals eerder beschreven, enkele experimenten uit in de directe nabijheid van ondergrondse verbindingen. Dit onderzoek vond geen negatieve effecten op de opbrengst van aardappelen, maïs, wintertarwe, gerst en rapen.

De reviewpaper, Malkemper et al. (2018), vermeldt enkele studies die wijzen op effecten voor plantenfysiologie. De meeste beschreven studies zijn echter niet relevant voor de condities van het Ventilius-project. De relevante studies keken daarenboven niet naar de effecten op plantaardige productie of vermeerdering en kunnen dus niet gebruikt worden om sluitende conclusies over de effecten van hoogspanningslijnen op gewasproductie te trekken (Aksoy et al., 2010; Mahmood et al., 2013; Maziah, 2012; Zaidi et al., 2013). Daarnaast vormen de aangegeven effecten ook geen gezondheidsrisico bij consumptie van de gewassen.

Discussie en conclusie elektromagnetisch veld

Studies uitgevoerd in de Verenigde Staten, Oostenrijk en Duitsland met voor de Vlaamse context relevante landbouwgewassen, zoals maïs, wintertarwe, luzerne, gerst, aardappelen en rapen, toonden over het algemeen geen effect (noch positief, noch negatief) van het elektromagnetisch veld op de gewasproductie en –kwaliteit.

6.3 Nuttige organismen

De landbouwproductie wordt ondersteund door een brede set aan nuttige organismen (zowel ondergronds als bovengronds). Zo stellen een uitgebreid scala aan bodemorganismen, gaande van micro-organismen tot regenwormen, nutriënten vrij door hun rol bij de afbraak van meststoffen en gewasresten. Bovengronds staan bijen, hommels en verscheidene andere insecten in voor de bestuiving van bijna 75% van alle primaire landbouwgewassen (Klein et al. 2007). Nog andere organismen, zoals lieveheersbeestjes en zweef- en gaasvliegen, zijn dan weer natuurlijke vijanden van voor het gewas schadelijke organismen en zijn zo een onontbeerlijk onderdeel van duurzame gewasbescherming (Vilt, z.d.). Eventuele positieve of negatieve effecten van hoogspanningsleidingen op deze nuttige organismen zullen dan ook onvermijdelijk de gewasproductiviteit en –kwaliteit beïnvloeden.

6.3.1 Ondergronds

De invloed van hoogspanningslijnen op bodemleven werd tot op heden onderbelicht in het onderzoek, wat verregaande conclusies moeilijk maakt. In totaal werden drie studies gevonden die keken naar de gevolgen voor bodem micro-organismen. Twee studies bij 380kV verbindingen, één bovengronds en de andere ondergronds, spraken van neutrale gevolgen voor de microbiële biomassa in het algemeen (Soja et al., 2003; Truby, 2018) en bij de derde werd meer seksuele reproductie van specifiek Penicillium species waargenomen bij toenemende spanning van de geteste verbindingen van 132kV over 275kV tot 400kV (Galonja Coghill et al., 2010). Bij deze laatste studie moet wel gewezen worden op het beperkt aantal herhalingen in de proefopzet, waardoor er geen sluitende conclusie uit te trekken valt. Er bestaan nog verscheidene andere studies die de invloed van elektromagnetische velden met extreem lage frequentie op microbieel leven onderzoeken, maar deze maken meestal gebruik van magnetische velden die verscheidene grootteorden sterker zijn dan de waarden die voorkomen bij 380kV verbindingen. Daarom worden ze als niet representatief beschouwd en niet opgenomen in deze literatuurstudie.

De invloed van een ondergrondse 380kV verbinding op regenwormen werd, zoals eerder beschreven, door Truby (2018) nagegaan. Op de lange termijn werden daar geen negatieve effecten waargenomen.

6.3.2 Bovengronds

Bij bovengrondse nuttige organismen ligt de focus op ongewervelde organismen. Van deze organismen staat vast dat ze natuurlijke (statische) elektromagnetische velden kunnen waarnemen met fysiologische mechanismen, die instaan voor de oriëntatie en beweging (Clarke et al., 2017; Greggers et al., 2013; Malkemper et al., 2018; Wan et al., 2020). Enkele studies wijzen op potentiele risico's voor fysiologische mechanismen door artificiële, dynamische elektromagnetische velden. Een sluitende conclusie kan hier echter niet uit getrokken worden door het gelimiteerd aantal studies, zeker voor elektromagnetische velden gecreëerd door hoogspanningslijnen, en de kwaliteit van de bestaande studies. De meeste studies zijn laboratoriumexperimenten die kijken naar acute blootstelling aan zeer sterke magnetische velden (>100μT) (Dimitrijevic

et al., 2013; Jankowska et al., 2015; Malkemper et al., 2018; Spasic et al., 2015; Vanbergen et al., 2019; Wyszkowska et al., 2016; Zhang et al., 2016; Shepherd et al., 2019). Shepherd et al. (2018) onderzochten de invloed van elektromagnetische velden met extreem lage frequentie op bijen (*Apis Mellifera*) aan de hand van enkele kwaliteitsvolle experimenten. Hierbij maakten ze gebruik van velden die dichter bij de waarden liggen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (20 - 100μT). Realistische waarden voor het Ventilus-project gaan vantot 15,6μT aan het oppervlak direct onder de hoogspanningslijn(Tabel 5). De studie toonde een significant negatieve impact op het leervermogen (63% proboscis extensie respons in vergelijking met 73% bij controle) bij acute (1 minuut) blootstelling aan 20 T elektromagnetische velden. Door de sterke correlatie tussen leervermogen en het succes van foerageervluchten, zouden de waargenomen effecten kunnen leiden tot stress bij zowel individuele bijen als bij de volledige kolonie (Raine & Chittka, 2008). Aangezien zeer veel gewassen gebruik maken van bijen en andere insecten voor bestuiving (die parallel met foerageervluchten gebeurt) zijn negatieve gevolgen voor gewasproductie niet uit te sluiten. De negatieve effecten bleven ook 1 uur na de laatste blootstelling waarneembaar in vergelijking met bijen in de controlegroep. Deze latere waarnemingen waren echter niet significant verschillend van de metingen vlak na de laatste blootstellingen. Dit is een indicatie dat de acute blootstelling geen invloed heeft op het (lange termijn) geheugen van bijen. In hetzelfde onderzoek werd ook aan blootstelling bij velden van 100μT een significante daling in foerageer- en voedingsgedrag waargenomen. Aangezien al deze effecten waargenomen worden bij veldsterktes die niet meteen representatief zijn voor het Ventilus-project kunnen ze een indicatie geven van mogelijke gevolgen, maar er kunnen geen sluitende conclusies uit getrokken worden

Om sluitende conclusies te kunnen maken over de invloed van elektromagnetische velden met extreem lage frequentie zouden meer kwaliteitsvolle experimenten uitgevoerd moeten worden met veldsterktes die representatief zijn voor het grondniveau. Dit zou toelaten om een beter beeld te krijgen van de eigenlijke effecten in het veld (Vanbergen et al., 2019).

Naast deze mogelijke directe gevolgen kan de aanwezigheid van hoogspanningslijnen ook op andere wijzen een invloed hebben op nuttige organismen. De mastvoet wordt meestal uit de teelt onttrokken en kan, mits goed beheer, een bron vormen van deze nuttige organismen, zowel natuurlijke plaagbestrijders als bestuivers (Eldegard et al., 2017; Nelissen et al., 2017; Russell et al., 2018; Wojcik & Buchmann, 2012). Dit kan ook het geval zijn voor de zone voor landschappelijke integratie van hoogspanningslijnen. Een goed beheer houdt in dat bij het kiezen van de plantensoorten in deze nieuwe perceelrand zowel de plagen in het gewas als hun natuurlijke vijanden in rekening worden gebracht. Voor meer informatie over welke planten geschikt zijn om nuttige insecten en roofmijten aan te trekken kan worden gebruik gemaakt van de 'Veldgids nuttige insecten & roofmijten' en de website van Lancaster (z.d.) (voor link, zie referentielijst) (Nelissen et al., 2017). Deze zone kan dan dienst doen als schuilplaats, overwintering en voedsel (De Win & Vervaeke, 2015). Pustkowiak et al. (2018) vonden een toegenomen aantal en diversiteit van bestuivers rondom windmolens en namen ook een associatie waar tussen de mate van toename en de plant diversiteit rondom de molen. Bij het onderzoek van Bianchi et al. (2008) werd een positieve relatie opgemerkt tussen het parasitisme van koolmotten (*Plutella xylostella*) door natuurlijke vijanden en de nabijheid van bossen en wegbermen. Uit de studie van Tschumi (2015) bleek dat bloemenranden bij kunnen dragen tot een effectieve reductie van gewasschade door het grasgoudhaantje bij wintertarwe.

<u>Discussie en conclusie nuttige organisme</u>

Regenwormen lijken geen negatieve effecten te ondervinden van ondergrondse verbindingen. Over de impact op microbieel leven in de bodem is er weinig literatuur beschikbaar en de bestaande studies geven tegenstrijdige resultaten, gaande van geen effect tot het versterken

van de proliferatie. Ook de kennis over de impact van elektromagnetische velden op ongewervelde dieren is eerder beperkt en niet eenduidig. Negatieve gevolgen voor het leervermogen, geheugen en agressief gedrag van bijen zijn mogelijk, maar met de bestaande wetenschappelijke literatuur is het niet mogelijk om sluitende conclusies te trekken voor veldsterktes die realistisch zijn voor het Ventilus-project. Wat wel vaststaat is dat de uit het teeltoppervlak genomen zones, zoals de mastvoet en de zones gebruikt voor landschappelijke integratie, mits doordacht beheer, als bron van nuttige organismen kunnen dienen.

6.4 Pathogenen, plagen & onkruid

De invloed van hoogspanningslijnen hoeft zich echter niet louter te beperken tot nuttige organismen, ook organismen die nadelig zijn voor de teelt kunnen erdoor beïnvloed worden. Waar de mastvoet en zone van landschappelijke integratie een bron kunnen vormen voor nuttige organismen, kunnen deze ook hetzelfde effect hebben voor plagen, plantenziekten of onkruiden. Daarom is het beheer van deze zones ook zo belangrijk. De invloed van uit het teeltoppervlak onttrokken zones en algemene agro-biodiversiteit op gewasproductie werd uitgebreid besproken door D'Haene et al. (2010) en Nelissen et al. (2017). Deze literatuurstudies keken niet naar hoogspanningslijnen specifiek, maar de beschreven situaties zijn meestal vergelijkbaar.

6.4.1 Plantenplagen

Plantenplagen lijken bij de aanwezigheid van hoogspanningslijnen voornamelijk beïnvloed te worden door de uit het teeltoppervlak onttrokken zones rondom de mast en voor de landschappelijke integratie. Zoals hierboven werd beschreven, kan een situatie gecreëerd worden waarbij specifieke plagen meer voordeel ondervinden van deze zones dan hun natuurlijke vijanden (D'Haene et al., 2010; Nelissen et al., 2017). Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn voor slakken die akkerranden kunnen gebruiken als schutplaats voor tijdens de winter (Scheele & van Gurp, 2007), knaagdieren die in deze zones beschutting vinden van hun natuurlijke vijanden (Šálek et al., 2020), of plaaginsecten die gelijksoortige waardplanten vinden om te overleven en te koloniseren (Loomans & Scholte, 2007). Dit alles onderschrijft nogmaals hoe belangrijk een goed beheer van deze zones is (van Reeuwijk et al., 2011).

6.4.2 Onkruid

De zones onder de mast en voor landschappelijke integratie kunnen een bron vormen van onkruid (van Reeuwijk et al., 2011). Ook zonder hoogspanningslijnen heeft de perceelrand vaak de hoogste onkruiddruk (van Rijn et al., 2011). De onkruiddruk kan verlicht worden door maatregelen zoals het inzaaien van gras, mits regelmatig maaien. Hierbij komt wel dat de mast het beheer met machines vaak belemmert, waardoor dit in de meeste gevallen handmatig moet gebeuren (van Reeuwijk et al., 2011). Daarnaast kan de bodemstructuur ook een invloed spelen bij de onkruiddruk. Dit is belangrijk voor de werfzone, waarvan de bodem sterk verstoord kan worden tijdens de aanleg. Zo zorgt een goed bodemstructuur voor minder wortelonkruiden (van Rijn et al., 2011).

6.4.3 Plantenziekten

Ook plantenziekten kunnen in de zones onder de mast en voor landschappelijke integratie mogelijkheden voor overleving en proliferatie vinden. Om dit te vermijden is het belangrijk om het voorkomen van de waardplanten voor de belangrijkste plantenziekten zo veel mogelijk in te perken met weldoordachte beheersmaatregelen (D'Haene et al., 2010).

Net als bij de onkruiden, wordt ook de druk van vele plantenziekten sterk beïnvloed door de bodemkwaliteit en kan deze dus een effect ondervinden van de aanleg van de hoogspanningslijn. Zeker het bodemvochtgehalte is zeer belangrijk voor de ziektedruk. Zo wordt bij percelen met betere drainage en aeratie van de bodem een verminderde schade door wortelrot verwekkers, zoals Fusarium, waargenomen (D'Haene et al., 2010). Drainage en aeratie zijn bodemfuncties die sterk aangetast kunnen worden door verdichting (Van De Vreken et al., 2009).

De rechtstreekse effecten van hoogspanningslijnen, zoals elektromagnetisch veld en temperatuureffect, op plantenziekten komen in weinig studies aan bod en als dit wel het geval is, is dit meestal slechts een vermelding. De eerder beschreven proef van Truby (2018) is de enige studie waarbij hieraan aandacht werd geschonken. In deze studie werd geen significant effect van de hoogspanningslijn op het voorkomen van plantenziekten waargenomen.

Discussie en conclusie pathogenen, plagen en onkruid

Zowel de aanleg als aanwezigheid van hoogspanningslijnen kunnen een significante negatieve invloed uitoefenen op de aanwezigheid van onkruiden, plantenziekten en plagen.
De werfzone kan een hogere ziekte- en onkruiddruk ondervinden als gevolg van de bodemverdichting, gecreëerd tijdens aanleg. Daarnaast kunnen de uit het teeltoppervlak verwijderde zones een bron vormen voor onkruiden, plantenziekten en plagen, als deze niet zorgvuldig beheerd worden.
In de weinige studies die er aandacht aan schonken, werd geen rechtstreekse invloed vastgesteld van de hoogspanningslijnen op het voorkomen van plantenziekten en –plagen.

6.5 Bijkomstige gevolgen voor gewasproductie

6.5.1 Drupschade & ijsval

Drupschade is, zoals de naam doet uitschijnen, de beschadiging van gewassen door vallende waterdruppels, die eerder opgevangen werden door de bovenliggende hoogspanningslijn. Dit type beschadiging is voornamelijk belangrijk voor kwetsbare teelten, zoals bladgewassen. De beschadiging kan een toegangspoort vormen voor schimmelziekten en leiden tot rotting (Agro Consultancy 2016). Er bestaat weinig literatuur over drupschade en de mogelijke omvang ervan. Wel werd in een uitspraak van de Nederlandse Raad van State dit type schade aangeduid als niet uit te sluiten (Raad van State, 2018).
Een gelijkaardige vorm van schade is ijsval. Deze schade zal echter enkel voorkomen bij de uiterst zeldzame situatie dat ijs zich ophoopt op de hoogspanningslijnen. Dit kan enkel gebeuren bij sneeuw of ijzel als de temperatuur van net boven naar net onder het vriespunt gaat. Deze situatie is zeldzaam in het Belgische klimaat en zeker als er stroom door de kabels vloeit (dit is niet het geval voor de dunne aardkabel), waarbij warmte wordt afgestaan aan de omgeving. Zodra de temperatuur terug boven het vriespunt komt, zal het ijs beginnen te smelten en kan dan naar beneden vallen. Indien deze ijsscherven groot genoeg zijn, kunnen ze onder de lijn flink wat schade veroorzaken aan serres, maar ook aan gewassen (Hoogspanningsnet, z.d.). De meeste gewassen zullen in de periode met het grootste risico op ijsval reeds geoogst zijn, maar verscheidene groentegewassen, zoals prei en spruiten, kunnen tot diep in de winter op het veld staan.

6.5.2 Botulisme door draadslachtoffers

Botulisme is een ziekte veroorzaakt door de toxines van de bacterie *Clostridium botulinum*, opgedeeld in zeven types, A tot G. Het is een potentieel dodelijke ziekte voor zowel mens als dier. De sporen van Clostridium komen voor in de omgeving, maar deze kunnen enkel kiemen en groeien onder anaerobe condities. De sporen worden ook teruggevonden in de ingewanden

van gezonde vogels (CFSPH, 2018). Het meest voorkomende type botulisme voor vogels in Noord-Europa is C (Holmes 2019).
Draadslachtoffers zijn gestorven en verwonde vogels door de impact met hoogspanningslijnen. Natuurpunt maakte een schatting dat in België ieder jaar 170.000 tot 500.000 vogels sterven door impact met hoogspanningslijnen (Natuurpunt, 2019). Dus de inbreng van vogelkadavers onder hoogspanningslijnen is zeker niet uit te sluiten en komt zelfs vrij frequent voor. De meeste van deze vogels worden snel opgegeten door roofdieren en aaseters. Niet iedere vogel is een bron van botulisme. Verschillende onderzoeken stellen dat de besmetting van vogels met botulisme zeldzaam zou zijn, tenzij bij uitbraken van de ziekte (CFSPH, 2018). Een link tussen hoogspanningslijnen en het ontstaan van botulisme uitbraken bij vogelpopulaties wordt voornamelijk waargenomen in moerassige gebieden, waar de karkassen van draadslachtoffers in een anaerobe omgeving de ideale condities creëren voor Clostridium om te prolifereren (Locke & Friend, 1989; Malcom, 1982), maar waar landbouw niet mogelijk is. Er werd zeer weinig wetenschappelijke literatuur gevonden over de link tussen draadslachtoffers en voedselveiligheid. Heel belangrijk hierbij is dat het meest voorkomende type botulisme, C, geen gerapporteerde link heeft met menselijke ziekte (Holmes, 2019).
Ook bestaan er verscheidene effectieve reductiemaatregelen, zoals vogelkrullen en andere types vogels waarschuwende uitrustingen, om de vogelsterfte te verminderen (Bernardino et al., 2019).

6.5.3 Zinkvervuiling

Het metaal voor de pylonen van hoogspanningslijnen wordt reeds verscheidene decennia verzinkt om het te beschermen tegen corrosie (thermische verzinking). Hierbij wordt een dunne laag zink bij verhitting aangebracht op het metaal. Vroeger bleven masten de eerste acht jaar onbeschilderd om het oppervlak te laten corroderen, om zo voldoende hechting te krijgen voor de verf (Grund & van Genderen, 2020; Rossi et al., 2017; Woolley, 2014). Tijdens die eerste jaren zal die zinklaag gedeeltelijk met de regen afspoelen en krijg je verhoogde Zn contracties in de bodem. Dit wordt nu sinds ongeveer 10 jaar verholpen door de masten reeds bij de bouw te schilderen, hiertoe wordt de zinklaag eerst opgeruwd in het atelier door ze licht te stralen. Er worden nog steeds verhoogde concentraties van zink gevonden in de bodems rondom pylonen, maar in deze studies worden voornamelijk oudere masten bekeken (Fava et al., 2002; Jones & Burgess, 1984). Zelf in deze uitgesproken nadelige situaties bleek de pollutie nooit te leiden tot opname in gewassen, die schadelijk zou zijn voor menselijke consumptie (Jones et al., 1988), of negatieve effecten voor plantaardige productie (Jones & Burgess, 1984). Ook bij bodem microorganismen werd geen correlatie gevonden tussen zinkconcentratie en respons van de microbiële activiteit (Smolders et al., 2009). Deze tegenstrijdigheid tussen gemeten concentratie, die in het labo sterk negatieve gevolgen heeft voor microbiële activiteit, en neutrale respons in de praktijk, wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de zeer lage beschikbaarheid van zink in landbouwbodems (Jones & Burgess, 1984; Smolders et al., 2009).
Indien de pylonen na verscheidene decennia toch voorzien moeten worden van een nieuwe laag verf om corrosie te voorkomen, bestaat er wel een risico voor verontreiniging van gewassen waarbij de bovengrondse delen gegeten worden, zoals bladgewassen en kolen (van Reeuwijk et al., 2011). Om deze contaminatie te vermijden wordt de teelt tijdens de beschildering afgedekt onder en rondom de mast (pers. communicatie Elia, 19/05/2020).

<u>Discussie en conclusie bijkomstige gevolgen voor gewasproductie</u>

Gewassen kunnen schade ondervinden van vallende waterdruppels of ijs, al lijkt dit zelden voor te komen. Over beide effecten bestaat er zeer weinig literatuur. Bij ijsval kan ook schade aan serres veroorzaakt worden.
Het risico op besmetting met botulisme vanuit kadavers wordt als laag beschouwd, maar er bestaat weinig wetenschappelijke literatuur over. Verwacht wordt dat hier voornamelijk moet op gelet worden bij uitbraken van botulisme onder watervogels in de buurt van natuurgebieden

met veel staand water. Het risico voor voedselveiligheid wordt nog extra verlaagd doordat het meest voorkomende type botulisme in Vlaanderen, type C, geen gerapporteerde link heeft met menselijke ziekte.
Zinkvervuiling rondom de pylonen van hoogspanningslijnen wordt veelvuldig waargenomen bij oudere masten omdat ze een 8-tal jaren onbeschilderd bleven. De nieuwere masten worden onmiddellijk bij de bouw beschilderd zodat het Zn niet meer kan afspoelen. De vastgestelde vervuiling bij de oudere masten resulteerde echter niet tot significante negatieve effecten voor het gewas, bodemleven en voedselveiligheid.

Hoofdstuk 7. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op dierlijke productie

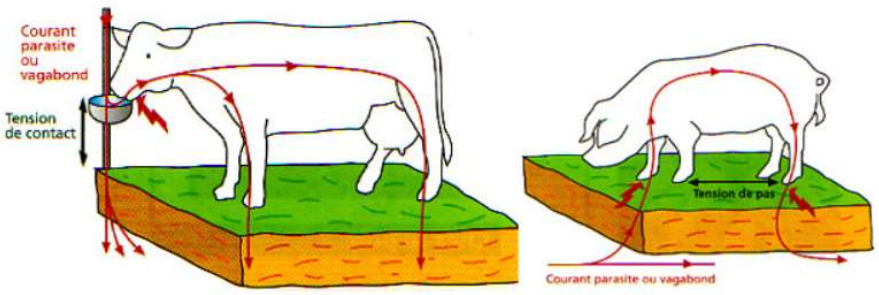
Bij landbouworganisaties en veehouders bestaat ongerustheid bij de plaatsing van nieuwe hoogspanningslijnen dichtbij landbouwactiviteiten. Ze zijn bezorgd over de gezondheid van hun dieren en welke economische impact dit zou kunnen veroorzaken (extra kosten of verlies van inkomsten). De bezorgdheden gaan over wat de impact is op welzijn en gedrag van de dieren, hun productiviteit (vruchtbaarheid, groei, productie), en ziektegevoeligheid/ziekteverspreiders. Bij hoogspanningslijnen worden elektrische en magnetische velden opgewekt (elektromagnetische velden). In het eerste deel hieronder wordt besproken wanneer elektrische velden negatieve gevolgen kunnen hebben en wat het effect hiervan is op het dier in een stalomgeving. In het tweede deel gaan we dieper in op de elektromagnetische velden en de effecten op gedrag, welzijn, gezondheid en productiviteit van landbouwhuisdieren. Bij rundvee en pluimvee is het meeste onderzoek te vinden. Bij varkens daarentegen is zo goed als geen bruikbaar onderzoek voor het doel van de studie. Hieronder geven we een samenvatting van bestaand onderzoek.

Voor meer specificaties rond de proefopzet, zie Bijlage 1. Wanneer gesproken wordt dat een verschil in behandeling waargenomen werd, was dit verschil significant (tenzij anders vermeld). Significantielevel kan ook teruggevonden worden in Bijlage 1.

7.1 Elektrische velden

Zoals eerder vermeld kunnen zwerfstromen ongemak en stress veroorzaken bij dieren in de stal (vnl. bij runderen en varkens). Wanneer stalonderdelen niet geaard zijn, zal het dier een schok waarnemen. Dit wordt duidelijker bij vochtig weer of bij een vochtige ondergrond. Door hun constant natte neus en hun vaak vochtige poten, zijn dieren hier gevoeliger voor dan de mens, die meestal schoeisel draagt met rubberen zolen. In het deel '*4.1. Zwerfstromen in veestallen*' kan je meer lezen over het ontstaan van zwerfstromen.

Er zijn 2 manieren voor het dier om in contact te komen met zwerfstromen: via contactspanning of via stapspanning (Figuur 10). Contactspanning is de spanning die kan ontstaan tussen het lichaam van het dier en een metalen element, zoals een drinkbak of een hek. Een stroom kruist dan het dier en gaat via de poten terug naar de grond. Bij stapspanning wordt de stroom veroorzaakt door de spanning die kan optreden tussen de voor- en achterpoten van het dier en kan het hart kruisen. Een stapspanning wordt voornamelijk veroorzaakt door bliksem en niet door hoogspanningslijnen en is hier dus niet aan de orde (GPSE, z.d.).



Figuur 10. Voorbeeld van contactspanning (rund) en stapspanning (varken) (GPSE, z.d.)

Er zijn 2 drempels bij het voelen van de elektriciteit (GPSE, z.d.): de waarnemingsdrempel (primaire symptomen) en de storingsdrempel (secundaire symptomen). De waarnemingsdrempel veroorzaakt een zichtbare reactie bij het dier, maar heeft geen gevolgen voor de productie.

Symptomen hiervan kunnen zijn: onrustig, frequenter urineren en mesten en een afkeer t.o.v. de bron van de zwerfstroom. De storingsdrempel is de drempel waarbij de productie beïnvloed wordt doordat het dier verstoord wordt. Bij melkvee kunnen symptomen hiervan zijn: langere melktijd, ongelijkmatig of onvolledig melken, verhoging van het celgetal en een toename van het aantal mastitisgevallen (Fedagrim, 2017; GPSE, z.d.; Raoul, 2010). Rundveeloket (2020) omschrijft een drempelwaarde van 1V voor de zwerfstroom. Bij hogere waardes moeten maatregelen genomen worden.

Rigalma et al. (2010) onderzochten het effect van elektrische stroom op een drinkbak voor koeien. De koeien werden 8 weken blootgesteld aan permanent 1,8V, random 1,8V of geen stroom. Ze observeerden in het begin meer activiteit (beweging) bij de koeien die permanent blootgesteld werden (in vergelijking met de controledieren), maar er werden geen effecten gevonden op productiekenmerken en dagelijkse water inname. Tijdens de 8ste week werd dan meer activiteit waargenomen bij de dieren met een random blootstelling (in vergelijking met de controledieren). De onderzoekers concludeerden dat een permante blootstelling leidt tot acute stress en een tijdelijke verhoging in activiteit, in tegenstelling tot een onvoorspelbare blootstelling die een chronische stress veroorzaakt en gezien wordt als een milde stressor met lichte veranderingen in de stress fysiologie.

Wanneer elektrische installaties aanwezig in de stal conform zijn aan het Algemeen Reglement op Elektrische Installaties (AREI) en wanneer een correcte aarding aanwezig is worden zwerfstromen voorkomen.

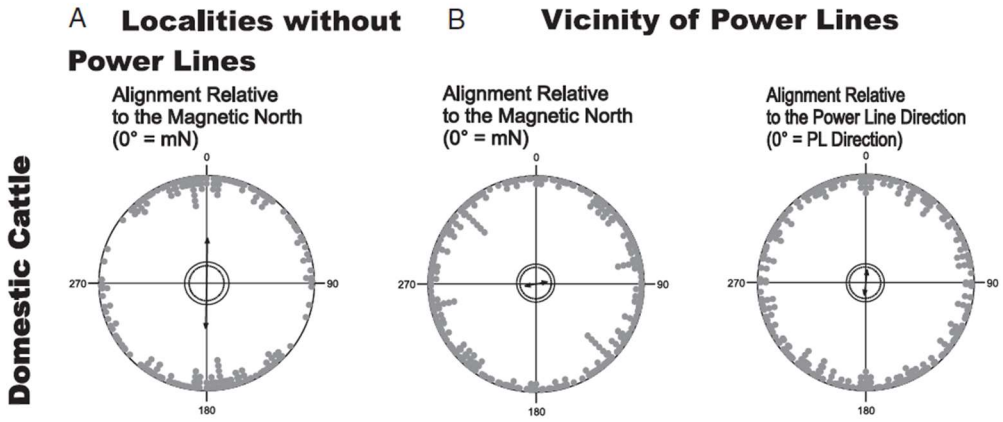
Conclusie elektrische velden

Het voorkomen van zwerfstromen verdient in de omgeving van hoogspanningslijnen extra aandacht, want deze kunnen een effect hebben op het welzijn en de productiviteit van de dieren. Echter, wanneer de elektrische installaties conform zijn aan het AREI en wanneer een correcte aarding aanwezig is, kan dit voorkomen worden.

7.2 Elektromagnetische velden

7.2.1 Grote herkauwers

De laatste jaren kwam meer interesse vanuit het onderzoek naar de gevoeligheid van zoogdieren voor aardmagnetische velden. Het oriënteren van het lichaam t.o.v. deze velden wordt 'Magnetic Alignment' (MA) genoemd. Echter hebben runderen ook vaak een voorkeur om zich te positioneren t.o.v. natuurelementen (zon en wind) of bewegen ze richting een specifiek doel, waardoor MA niet altijd duidelijk is (Begall et al., 2011; Begall et al., 2008; Begall et al., 2013). In de studie van Begall et al. (2008) bestudeerden ze luchtfoto's, beschikbaar via Google Earth, van 308 kuddes verspreid over de hele wereld. Hun database is heel uitgebreid, ze vonden geen relatie tussen de oriëntatie van de runderen en de wind/zon. Wel zagen ze een voorkeur bij de runderen om hun lichaam evenwijdig te positioneren met de noord-zuid as, zoals Figuur 11A aantoont. Elk dubbel punt (tegenover elkaar op de cirkel) toont de gemiddelde positionering van een kudde aan. Dit gedrag was voornamelijk zichtbaar bij liggende/rustende runderen en in minder mate bij staande/grazende dieren, wanneer de kudde zich minstens 500m van een hoogspanningslijn bevond.



Figuur 11. Data toont oriëntatie van het lichaam aan van runderen. (A) dieren op locatie zonder hoogspanningslijnen en (B) dieren die grazen of rusten nabij hoogspanningslijnen. Elk paar van datapunten (tegenover elkaar op de cirkel) toont de gemiddelde potitonering van de kudde (Burda et al., 2009)

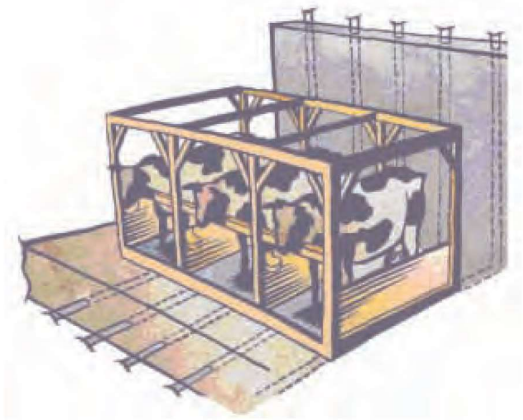
Wanneer de kuddes zich in de buurt van hoogspanningslijnen bevonden (tot 150m) was de oriëntatie meer random zonder een preferentie voor de noord-zuid as (Figuur 11B). Door de methodologie van het onderzoek kan men niets zeggen over de sterkte van het magnetisch veld, maar men gaat uit van 15μT bij 380kV, 8μT bij 220kV en 5μT bij 110kV. Zowel Begall et al. (2008) als Burda et al. (2009) zagen effecten van hoogspanningslijnen op het gedrag van runderen (hun positionering), maar concluderen dat er momenteel nog wetenschappelijke onduidelijkheid is over een mogelijk effect op welzijn en productiviteit.

Het biologisch nut van Magnetic Alignment kan nog een restant zijn van de voorouders toen migreren over lange afstanden nog voorkwam. Nu speculeert men dat het helpt bij het synchroon bewegen van de kudde en dat het helpt bij de oriëntatie en navigatie (mentaal mappen van de omgeving). Aangezien MA (vooral) voorkomt bij rustende dieren, gaat men ervan uit dat het op meer vlakken van belang is, zoals ook bij het regelen van de vegetatieve functies (zoals de bloedsomloop en de spijsvertering) (Begall et al., 2013; Burda et al., 2009).

Vanuit een andere onderzoeksgroep (Hert et al., 2011) kwam kritiek op de bevindingen van Magnetic Alignment. Ze herhaalden het onderzoek en vonden geen positionering t.o.v. de noord-zuid as. Echter, Begall et al. herhaalde de studie in 2011 met de database van Hert et al. (2011) en concludeerden opnieuw dat runderen zich positioneren t.o.v. de noord-zuid as.

Rundvee is de meest onderzochte diersoort als het gaat over ELF EMV en hoogspanningslijnen. In de jaren '80 zijn enkele onderzoeken uitgevoerd op de weide, onder hoogspanningslijnen. Hier vonden ze geen negatief effect op vruchtbaarheid en het succes van inseminaties en geen negatief effect op de kalveren waarvan de moeders tijdens de dracht op een weide stonden onder hoogspanningslijnen (Algers & Hennichs, 1985; Algers & Hultgren, 1987). Broucek et al. (2002) onderzochten verschillende parameters bij kalveren van moeders die de laatste 62 dagen van de dracht werden blootgesteld aan 19,4-42,1μT MV en vonden geen effect op het gedrag van die kalveren. Wel zagen ze een verlaagde melkproductie bij de koeien die blootgesteld werden tegenover de controle dieren (6910 kg en 7423kg, respectievelijk) en een kortere tussenkalftijd (Broucek et al., 2002; Broucek & Arave, 2003). Onderzoek naar immuniteit toonde aan dat T-lymfocyten (afweercel) in het bloed tijdelijk verhoogden bij een ELF EMV gehalte van 1,98-3,28μT tegenover geen blootstelling (Stelletta et al., 2007). Echter, hier is niet aangetoond hoe deze verandering de gezondheid en het welzijn van de dieren beïnvloedt. Ook werd maar een beperkt aantal dieren onderzocht (n=5) waardoor de nodige voorzichtigheid aangeraden is bij het trekken van conclusies.

Over een periode van ongeveer 10 jaar (1996-2007) heeft een Canadese groep verschillende onderzoeken gedaan op het effect van ELF EMV bij melkvee. In 1999 werd een 'Cow exposure chamber' ontworpen (Figuur 12) om proeven te doen onder gecontroleerde omstandigheden en altijd met dezelfde parameters. De stal bestond uit 8 houten boxen, zoals een bindstal. Telkens werden 16 koeien onderzocht waarvan 8 koeien continu werden blootgesteld aan 30μT (50-60Hz) over ± 28 dagen gedurende 16 uur per dag. De studies uitgevoerd voor 1999 hebben eenzelfde proefopzet. Er werd geen of weinig effect gevonden op melkproductie, een lichte verhoging in melkvet en een verhoogde voeropname (Burchard et al., 2003; Burchard et al., 1996; Rodriguez et al., 2003). Deze kleine veranderingen waren tijd/periode afhankelijk (bij zowel de controledieren als de dieren blootgesteld aan ELF EMV), wat kan verklaard worden door een aanpassing van de dieren en het evoluerende lactatiestadium. Geen effecten werden gevonden op het progesterongehalte in het bloedplasma, wel een langere oestruscyclus (tot 2 dagen langer) (Burchard et al., 1998b; Rodriguez et al., 2003). De studies waar men melatoninegehalte in het bloed onderzocht duurden 16 dagen. Melatonine is een hormoon dat van belang is voor het dag-en-nacht ritme. 's Avonds (bij afname van natuurlijk licht) verhoogt het gehalte, wat leidt tot slaperigheid. In deze studies vond men geen effect van ELF EMV of een lichte verhoging in het hormoon overdag (Burchard et al., 1998a; Rodriguez et al., 2004). Voor het schildklierhormoon thyroxine (T4, belangrijke rol bij het reguleren van vitale functies zoals groei, voortplanting en metabolisme), zag men enkel een klein verschil, waaruit men concludeerde dat in normale, praktijk omstandigheden geen gezondheidsgevaar zou optreden i.v.m. thyroxine (Burchard et al., 2006). In het hersenvocht zag men een significante verhoging van chinolinezuur. Chinolinezuur is een stof die voorkomt in de hersenen. Wanneer deze in het bloed waargenomen wordt, toont dit aan dat er een zwakkere bloed-hersen barrière is. Dus meer stoffen kunnen in de hersenen terecht komen (Burchard et al., 1999; Burchard et al., 1998c). Tot op heden heeft de Canadese vakgroep niet kunnen aantonen dat een blootstelling van 30μT gezondheidsgevaren of productiedalingen veroorzaakt.



Figuur 12. Cow exposure chamber, made by Hydro-Québec, McGill University, MAPAQ and the Québec Dairy Committee

Ook van belang zijn de verschillen die in de praktijk voorkomen. Sommige koeien staan het jaar rond op stal, terwijl andere in de zomer op de weide gaan. Ook de soort begrazing/ het beweidingsschema is van belang: dit kan variëren van constant op een klein perceel (vaak bij vleesvee) versus afwisselend grazen op meerdere percelen of van ganse dagen tot slechts enkele uren per dag (vaak bij melkvee). Ook kan dan seizoensgebonden een andere blootstelling voorkomen. De Canadese onderzoeksgroep ging uit van een worst-case scenario waar de dieren zich gedurende 28 dagen continu onder de hoogspanningslijn bevinden (nagebootst in hun proefopstelling) aan een blootstelling die bij het Ventilus traject slechts in uitzonderlijke gevallen zal voorkomen.

Discussie en conclusie grote herkauwers

Er zijn indicaties, maar voorlopig onbevestigd dat runderen hun gedrag aanpassen in de buurt van hoogspanningslijnen, echter werd het storende effect hiervan tot op heden nog niet onderzocht. Een verandering in gedrag is een teken dat een dier zich moet aanpassen of iets probeert te mijden/bekomen wat er voorheen niet was. Dit gedrag hoeft niet negatief te zijn en kan doeltreffend zijn om met de verandering om te gaan. Maar vaak is het om een erger negatief effect te vermijden of te reduceren. Het effect op welzijn is niet verder onderzocht dus er kunnen geen conclusies gemaakt worden op basis van de beschikbare literatuur.

Het effect van ELF EMV op de productie en gezondheid van runderen is meer onderzocht. Sommige studies vonden kleine effecten, andere zagen geen verandering. De proefopzet is ook van belang; Voorbeeld in de studie van Broucek *et al.* (2002) keek men naar de ontwikkeling van het kalf tijdens de laatste 62 dagen van de dracht, maar omdat de belangrijkste ontwikkelingsfase in het begin van de embryogenese plaatsvindt, zou men eerder problemen verwachten wanneer de dieren in het begin van de dracht blootgesteld worden. Verder onderzocht de Canadese onderzoeksgroep een blootstelling die relatief kort was (28 dagen), dus werd niet gekeken naar de effecten van een continue blootstelling. Ook zijn vaak het aantal geteste dieren eerder beperkt. Verder wordt nergens de economische impact van de veranderingen becijferd waardoor hier geen conclusie over kan gemaakt worden.

7.2.2 Pluimvee

Bij kalkoenen onderzochten Laszlo et al. (2018) gedragsveranderingen ten gevolge van een blootstelling aan ELF EMV met dieren die in groep gehuisvest werden. Tijdens de blootstelling werden ze individueel in een kooi geplaatst en blootgesteld aan 10μT voor 20 min, elke 8 uur, gedurende 3 weken. De onderzoekers vonden dat de blootgestelde dieren meer depressief gedrag vertoonden (minder slapen en minder actief) gedurende de volledige proefperiode, ten opzichte van de controledieren. Dit werd bevestigd door een verlaging van de activiteit van -adrenoceptor, een receptor die van belang is bij de vecht-of-vluchtreactie. Echter, tijdens een 'herstellingsfase' (de periode na de proef, zonder blootstelling) kon de functie van deze receptor hersteld worden, dus geen blijvende schade werd gevonden.

In het onderzoek van Berman et al. (1990), ook weergegeven als 'The Henhouse Project' in de literatuur, zijn meerdere experimenten uitgevoerd op kippeneieren in verschillende laboratoria met eenzelfde proefopzet. Hier werd een puls-blootstelling gebruikt gedurende 48u, met pieken tot 1μT en geen blootstelling voor de controledieren. Ze vonden enkel in 2 van de 6 laboratoria (significante) afwijkingen in morfologie/ontwikkelingsstadium en groei van de embryo's.

In een latere studie met een blootstelling van 10μT ELF EMV, vond men geen negatieve effecten op de ontwikkeling van de embryo's (zie Bijlage 1 voor meer details) (Cox et al., 1993). Aangezien de uitkomsten van eerder onderzoek niet eenduidig waren, hebben Farrell et al. (1997) dit verder onderzocht gedurende 5 jaar (gelijkaardig aan 'The Henhouse Project'). De proefeieren werden 48u blootgesteld aan 1-4μT (puls-blootstelling), en dan onmiddellijk onderzocht op misvormingen van het zenuwstelsel, de bloedvaten, het hart en de segmenten van het embryo. Men zag bij 15,3% van blootgestelde embryo's abnormaliteiten, tegenover 6,2% bij de controle embryo's die niet blootgesteld werden aan magnetische velden. Hun conclusie was dat lage ELF EMV gehaltes een effect kunnen hebben op de groei en ontwikkeling van embryo's.

In een review-paper van Brent (1999) wordt echter aangehaald dat een teratologisch onderzoek in de eerste 48-52 uur niet representatief is. Om effecten te onderzoeken op de embryogenese raadden ze aan om tot het einde van de ontwikkeling te wachten om het embryo te onderzoeken.

Roda-Murillo et al. (2005) onderzochten de effecten van lage en hoge tot zeer hoge ELF EMV gehaltes bij kippeneieren. De behandelingen bestonden uit 1μT, 500μT en 1000μT (50Hz) en een controlegroep. Na 21 dagen incubatie toonden alle behandelingen (t.o.v. de controlegroep) een lager lichaamsgewicht en een verminderde groei van de schedel. Het gewicht van de hersenen was gelijk voor alle groepen. Ook in deze studie halen ze het verschil in resultaten (effect van ELF EMV) in de literatuur aan. Zij suggereren dat de duur van de blootstelling het verschil kan maken.

Juutilainen (1991, 2005) beschrijft in zijn reviews dat verschillen tussen studies te wijten kunnen zijn aan de blootstellingscondities, de oriëntatie van de eieren, de blootstellingsgraad bij de controle groep, de variaties in de genetische stam en zelfs de statistische analyse. Zelf heeft hij onderzoek uitgevoerd waarbij de ontwikkeling van blootgestelde embryo's (0,1 – 10μT, 50Hz) abnormaliteiten vertoonde (Juutilainen et al., 1987).

Sechman et al. (2006) bekeken het effect van ELF EMV op het schildklierhormoon bij kippenembryo's. Het schildklierhormoon is van belang bij de incubatietijd en het uitkippen. In normale omstandigheden verhoogt de concentratie schildklierhormoon in het bloed naar het einde van de incubatietijd waardoor verlaging van het hormoon de groei en ontwikkeling van het kippenembryo aantast. In deze proef werden 320 eieren in 2 groepen verdeeld (testgroep met blootstelling en controlegroep zonder blootstelling). Bij 80 embryo's per groep werd het bloed getest voor het schilklierhormoon, bij de andere 80 werd het uitkippen bestudeerd. De testgroep werd blootgesteld aan 10μT/50Hz gedurende de volledige incubatieperiode. Bij een blootstelling aan ELF EMV was de concentratie aan schildklierhormoon hoger in vergelijking met de controlegroep. Deze effecten gingen samen met een lagere embryonale sterfte en een vervroegd uitkippen. Sechman et al. (2006) suggereren dat de verschillende resultaten tussen studies (negatieve effecten of geen effecten van ELF EMV blootstelling) te maken hebben met genetische aanpassing (gevoeligheid voor magnetische velden).

Recenter onderzoek naar neurale ontwikkeling (Roda et al., 2011) toont aan dat een blootstelling aan 10μT de normale embryonale ontwikkeling (50 en 100Hz) en neurale functie (100Hz) verstoort. Geen grote embryonale misvormingen werden waargenomen, wel veranderingen in gewicht en ontwikkelingsstadium. Al na 45h werd een vertraging in ontwikkeling waargenomen (zowel bij 50 als 100Hz). Hier vond men de grootste negatieve effecten op het einde van de incubatieperiode (gewicht en ontwikkelingsstadium), waarbij een lange blootstelling volgens hen een grotere impact heeft, i.t.t. de grote negatieve effecten in het beginstadium van de embryogenese in andere studies. Dit verschil in resultaten wijten zij aan het grote verschil in variabelen en verschillende types onderzoek die uitgevoerd zijn.

In een andere studie naar schildklierhormonen in het bloed (Pawlak et al., 2013), weliswaar bij relatief hoge blootstelling (50 en 100μT), werden dezelfde effecten waargenomen. Hier werd ook een verhoogde hartslag waargenomen, bij een continue blootstelling, vanaf dag 17, tegenover geen blootstelling bij de controlegroep (zowel 50 als 100μT). Bij 100μT blootstelling verhoogde ook de aminotransferases (indicator voor hartspierschade) in het bloed, wat een effect heeft op eiwit metabolisme en necrotische processen in orgaancellen (o.a. In het hart).

Er werden geen studies gevonden (binnen de vooropgestelde criteria) die keken naar de invloed van elektromagnetische velden bij leghennen en vleeskippen.

<u>Discussie en conclusie pluimvee</u>

In de studie rond kalkoenen werd beschreven dat een relatief lage EMV een effect op het gedrag van kalkoenen heeft. Dieren vertoonden meer "depressief" gedrag. In de praktijk zal een blootstelling continu voorkomen en niet periodiek, en over een lange periode waardoor een herstellingsfase niet zal voorkomen. Echter is deze studie kortstondig en weet men ook niet of gewenning kan optreden aan ELF EMV blootstelling. Anderzijds, de dieren werden alleen gehuisvest tijdens de blootstelling en terug in groep geplaatst erna. Dit kan ook de resultaten beïnvloeden. Deze studie laat niet toe om een duidelijke conclusie te trekken.

De resultaten van het uitgevoerde onderzoek bij kippeneieren zijn niet eenduidig. Toch werd aangetoond dat bij een lage blootstelling de morfologie en ontwikkeling van de embryo's aangetast kan worden. Verschillen in resultaten (al dan niet een effect van ELF EMV) tussen studies kunnen te wijten zijn aan de genetica, de proefopstelling of andere variabelen (vb. statistische analyse). Studies tonen weliswaar met variatie aan dat EMV de ontwikkeling van kippenembryo's kan beïnvloeden. Welke blootstelling resulteert in welke effecten en wat de gevolgen dan zijn voor het welzijn en de productiviteit van de dieren is niet duidelijk.

7.2.3 Kleine herkauwers

Thompson et al. (1995) plaatsten ooilammeren (2-10 maand leeftijd) onder hoogspanningslijnen (4μT) en vergeleken deze met ooilammeren die verder geplaatst werden (0,03μT). Ze vonden geen verschillen in cortisol (stresshormoon), groei of wolproductie en concludeerden dan ook dat er geen indicaties waren dat lammeren die grazen onder hoogspanningslijnen gezondheidsrisico's lopen. Hefeneider et al. (2001) deden een gelijkaardig experiment. De controlegroep werd verder van de hoogspanningslijn geplaatst en de 2 testgroepen onder de hoogspanningslijn. 1 testgroep werd blootgesteld aan elektromagnetische velden, de andere testgroep werd afgeschermd van elektrische velden en werd enkel blootgesteld aan magnetische velden. De studie duurde 27 maanden en onderzocht het effect op immuniteit. Elke maand werd bloed afgenomen om IL-1 en IL-2 (cytokinen van belang bij de immuunrespons) te bepalen, ook hier werden geen significante verschillen gevonden tussen de behandelingen. In een eerdere studie van dezelfde auteurs (Hefeneider et al., 1998) met jongere ooilammeren (7 weken leeftijd bij de start), over een periode van 12 maand, zagen ze een verlaging van de IL-1 activiteit (een cytokine, van belang bij ontsteking) bij een magnetisch veld van 3,5-3,8μT. De auteurs interpreteerden dat de leeftijd een rol kan spelen bij een mogelijks effect van magnetische velden op de IL-1 activiteit.

Discussie en conclusie kleine herkauwers

Bij kleine herkauwers zijn slechts weinig publicaties beschikbaar. De enkele studies toonden geen negatieve effecten, slechts 1 studie toont wel een effect betreffende de IL-1 activiteit. Hierdoor is het moeilijk om conclusies te trekken maar gevolgen uitsluiten is niet mogelijk.

7.2.4 Varkens

Er is weinig tot geen literatuur te vinden bij zeugen, biggen en beren. De enkele studies die gevonden werden waren uitgevoerd met veel te hoge gehaltes aan EMV om relevant te zijn voor deze literatuurstudie. Bijvoorbeeld de studie van Bernabo et al. (2010) met waarden vanaf 500μT.

7.2.5 Insecten

Ongewervelden kunnen elektromagnetische velden waarnemen. Wat het potentiële risico is van elektromagnetische velden voor de fysiologische mechanismen, is niet duidelijk door het beperkt aantal studies. Anderzijds, doordat een deel van de grond uit de teelt onttrokken wordt door de aanwezigheid van een mastvoet, kan deze zone, mits een goed beheer, nuttige organismen juist gaan aantrekken. Een meer diepgaande uitleg kan gevonden worden in het eerder beschreven deel '*6.1.4. Nuttige organismen*'.

7.2.6 Botulisme

Zoals beschreven in het deel '*6.3.2. Botulisme door draadslachtoffers*', is botulisme een weinig voorkomend probleem. Draadslachtoffers komen voor, maar vaak worden de kadavers snel

opgegeten door roofdieren en aaseters. Daarnaast is niet elke vogel een bron voor botulisme. Voor meer info hierrond kan het eerder vernoemde deel bekeken worden.

DEEL 2: Diepte-interviews

Hoofdstuk 8. Resultaten diepte-interviews

Tijdens de diepte-interviews werden de respondenten bevraagd over de impact van de hoogspanningsinfrastructuur op zowel agrarische constructies en infrastructuur, technologie, bodem, plantaardige productie, dierlijke productie en gezondheid *(2.2 Aanpak diepte-interviews)*. In onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van de informatie die de geïnterviewde landbouwers over deze thema's gaven.

8.1 Agrarische constructies en infrastructuur

De geïnterviewde landbouwers vermeldden 5 verschillende vormen van impact door de werkzaamheden bij de aanleg van de hoogspanningsinfrastructuur en door de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur op hun agrarische constructies en infrastructuur:

- Impact door de werkzaamheden bij de aanleg hoogspanningsinfrastructuur
    - Schade aan gebouwen en infrastructuur
- Impact door aanwezigheid hoogspanningsinfrastructuur
    - Schade aan serres door draadslachtoffers en ijspegels
    - Zwerfstromen
    - Goedkeuring nodig van Elia bij nieuwbouw
    - Invloed op de inplanting van bedrijfsgebouwen

Werfschade als gevolg van **de werkzaamheden** werd weinig aangehaald bij de respondenten. De enkele meldingen betroffen schade aan bijvoorbeeld gebouwen, een struik, een internetkabel of aan toegangswegen door het zware materiaal. Ook werd schade aan de drainage bij de aanleg van een kabel vermeld.

De impact op de agrarische constructies, éénmaal de hoogspanningsinfrastructuur **aanwezig**, werd weinig aangehaald. Het deed zich voor onder de vorm van schade door draadslachtoffers, schade door ijspegels en een invloed op de bouw van nieuwe constructies. Schade door draadslachtoffers of door ijspegels kwam voor bij serretelers. De kans op schade door ijspegels werd aangehaald als zeer klein en werd vermeld als slechts één keer voorgekomen in de carrière van één serreteler. Schade door draadslachtoffers blijkt wel vaker voor te komen, zo'n één keer om de paar jaar. Indien de glasplaat niet uit veiligheidsglas bestaat, breekt deze en moet de glasplaat door een gespecialiseerde firma vervangen worden. Indien het toch uit veiligheidsglas bestaat, blijft het draadslachtoffer op de plaat liggen en moet een gespecialiseerde firma het kadaver van de plaat verwijderen.
Zwerfstromen worden effectief ervaren maar hebben volgens de respondenten geen negatieve impact wanneer de metalen infrastructuur of machines geaard zijn.
Eén respondent vermeldde als gevolg van corrosie door het magnetisch veld van de hoogspanningslijn een impact op de kwaliteit van het gewas te ervaren door condensatiedruppels gevormd op de metalen constructie van de serre die brandplekken op de bladeren van het gewas nalieten.
Om een nieuwe constructie neer te zetten onder een hoogspanningslijn moesten de respondenten toestemming krijgen van Elia. De respondenten gaven aan dat het overleg met Elia doorgaans vlot verliep. Ze vertelden dat Elia voorwaarden stelt rond de afstand die moet gehouden worden van de hoogspanningslijn voor zowel het gebouw als de machines gebruikt bij de bouw. Dat leidde soms tot het niet kunnen gebruiken van een bouwkraan waardoor alternatieven moesten gezocht worden door de landbouwer of de bouwfirma.

De respondenten vertelden echter niet beperkt geweest te zijn in de bouw van een woning of loods, wel had het een invloed op de keuze door één respondent omtrent de inplanting van een stal omwille van de bezorgdheid voor interferentie van het EMV met elektronica.

De respondenten haalden enkele **maatregelen** aan die Elia trof om de impact op de agrarische constructies en infrastructuur te compenseren. Indien een stuk lijn boven een bedrijf aangelegd wordt, wordt er door Elia een plaatsbeschrijving gemaakt van de infrastructuur om eventuele schade door de werkzaamheden correct te kunnen vergoeden. Om schade te vermijden gaat Elia voorzichtig te werk en worden er portieken geplaatst boven gebouwen waar een lijn bovenkomt. Schade aan drainage wordt op kosten van en in overleg met Elia hersteld. De respondenten gaven ook aan dat Elia de schade door draadslachtoffers alsook de meerkost voor het plaatsen van veiligheidsglas vergoedt. Ter preventie van deze schade plaatsen ze vogelkrullen op de lijn boven de serre. Een respondent waardeerde ook dat Elia bij installatie van een nieuwe lijn rond een bedrijf hogere masten plaatste om de uitbreidingsmogelijkheden te vrijwaren.

De algemene **houding** van de respondenten omtrent de maatregelen rond de schade door de werkzaamheden was positief. Alle respondenten die schade ondervonden hadden door de werkzaamheden aan gebouwen of infrastructuur vertelden hiervoor correct vergoed te zijn. De vergoeding voor de schade aan de serre door ijspegels werd ook correct vergoed volgens de respondent. Er bleek onduidelijkheid te zijn rond de maatregel voor het verkrijgen van een vergoeding voor schade door draadslachtoffers aan serres, niet alle serretelers dachten recht te hebben op deze vergoeding. De respondenten hadden geen problemen ervaren met Elia in het vergunningsproces voor het bouwen van een nieuwe stal, loods of woning, De communicatie met Elia hierrond verliep vlot en indien er tijdens de bouw bezorgdheden waren, was Elia beschikbaar om advies te geven.

8.2 Technologie

De geïnterviewde landbouwers geven geen negatieve impact op computersystemen aan. Wel werd vermeld dat in een anticipatie op verwachte negatieve impact, gekozen werd voor een alternatieve technologie.
Op uitzondering van één respondent gaven alle andere landbouwers aan géén storing te ondervinden op de werking van hun GSM. De respondenten die gebruik maken van een GPS, gaven aan geen systematische storing in de buurt van de hoogspanningsinfrastructuur te ondervinden, ook hun loonwerkers hadden tegen hen daar nog geen opmerking over gemaakt.

8.3 Bodem

Bij het bevragen van de respondenten over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op de bodem komen een 8-tal verschillende types impact naar voor. Er werden landbouwers geïnterviewd met een bovengrondse lijn in de zandstreek, kustpolder en de overgang tussen de twee en landbouwers met een ondergrondse kabel in de overgang tussen zandstreek en kustpolder. Net zoals bij de andere thema's wordt het onderscheid gemaakt tussen enerzijds impact gerelateerd aan de werkzaamheden en anderzijds blijvende impact gerelateerd aan de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur.

Onderstaande lijst geeft een overzicht van de verschillende types impact:

- Impact door de werkzaamheden bij de aanleg hoogspanningsinfrastructuur
    - Structuurschade door berijden met zwaar materiaal
    - Verstoring van de waterhuishouding als gevolg van aanleg kabel

    - Slechte afwerking: bulten en putten in terrein en rond mastvoet of inspectieput na de werkzaamheden
    - Omwoelde bouwvoor met onvruchtbare ondergrond rond mastvoet of inspectieput
    - Verontreiniging van het terrein door achtergelaten materiaal
    - Verontreiniging ondergrond door aangevoerde grond van slechte kwaliteit
- Impact door aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur
    - Wegploegen van grond rond mast en inspectieput waardoor putten ontstaan
    - Opwarmen bodem door kabel waardoor de bodem sneller uitdroogt

Wat de impact als gevolg van de **werkzaamheden** op structuurschade betreft, dient in de eerste plaats een onderscheidt gemaakt te worden tussen respondenten met een ondergrondse kabel en met een bovengrondse lijn. De respondenten met een kabel gaven aan enorme schade aan de bodemstructuur op te merken, terwijl respondenten met een lijn geen blijvende schade vermelden, Door te diepspitten na de werken of in één geval de werfwegen aan te vullen met teelaarde was de schade aan de bodem als gevolg van de werkzaamheden aan een lijn weggewerkt. Hierbij moet wel vermeld worden dat de respondenten met een kabel hun bedrijf hadden in de overgang tussen polder en zandstreek, terwijl landbouwers met een lijn over het algemeen hun bedrijf in de zandstreek hadden.
Verschillende respondenten maakten melding van impact door een onzorgvuldige afwerking waarbij putten en bulten achterblijven in de akker en rond de mastvoet of inspectieput.
Andere punten van kritiek hebben te maken met het vermengen van onvruchtbare ondergrond in de bouwvoor rond de mastvoet en inspectieput en het achterblijven van voorwerpen op de akker die het vee kunnen schaden of schade kunnen aanrichten aan de landbouwmachines.
Verder gaven enkele respondenten aan dat waterhuishouding van de bodem boven de kabels verstoord blijft waardoor de bodemvruchtbaarheid gedaald is, toch tot 3 jaar na de werken aangezien bij de respondenten de kabels 3 jaar terug geïnstalleerd werden. De respondenten verwijzen hierrond naar verschillende praktijken zoals de bodemverdichting door berijden met zware machines, de afwezigheid van drainage in een strook van 15m recht boven de kabels, het gebruik van dolomiet in de bodem en het afdekken met platen van de kabels.
Verder werd ook nog melding gemaakt van een snellere uitdroging van de bodem boven de (ondergrondse) kabels, naast de reeds aangehaalde oorzaak van de verstoorde waterhuishouding werd ook verwezen naar de warmte gegenereerd door de kabels in de bodem als oorzaak.

Tot slot werd melding gemaakt van de negatieve impact door de **aanwezigheid** van de hoogspanningsinfrastructuur op de bodem door het wegploegen van de grond rond een mast of inspectieput. Een van de bevraagde respondenten gaf ook aan al eens teelaarde te laten bijvoeren om dit probleem op te lossen. De wijziging van de perceelstructuur leidt ook tot een gewijzigde rijpatronen maar de respondenten merkten lokaal rond de mast of inspectieput geen bodemverdichting op.

De respondenten vermeldden verschillende **maatregelen** genomen door Elia om de structuurschade te compenseren.
Twee verschillende methoden werden aangehaald om de structuurschade veroorzaakt door berijden met zwaar materiaal zo beperkt mogelijk te houden, De landbouwers bij wie rijplaten gebruikt werden, hadden over het algemeen geen schade te melden, terwijl de respondenten waar men een folie met steenpuin gebruikte om de werfwegen aan te leggen structuurschade vermeldden.
Bij de aanleg van een kabel vertelden de respondenten dat er aandacht werd besteed aan het apart houden van de bouwlaag. Als er drainage aanwezig was, werd deze ook hersteld in overleg met de respondent.

De vergoedingen voor structuurschade zijn uiteraard afhankelijk van de geleden schade. Respondenten uit de zandstreek die ook geen enkele melding van structuurschade aan de bodem maakten, ontvingen geen vergoeding. De meerderheid van de respondenten die aangaven structuurschade te hebben ondervonden, gaven aan wel zo'n vergoeding gekregen te hebben. Eén respondent echter, die structuurschade ondervonden had, gaf aan niet op de hoogte te zijn van deze vergoeding.

De houdingen tegenover de vergoedingen voor structuurschade zijn verdeeld. Respondenten met een lijn zijn hier tevreden over, respondenten met een kabel niet omdat ze vinden dat de vergoeding, uitbetaald gedurende 3 jaar, te laag is en te kort in duur aangezien volgens hen de structuurschade na 3 jaar niet verdwenen is. Een respondent vermeldde dat hij de mogelijkheid had om nog een extra vergoeding te krijgen maar dan moest hij elk jaar kunnen aantonen dat hij schade had geleden aan de teelt omwille van de structuurschade aan de bodem.

"Ik zou opteren, als ze opnieuw aanleggen dat het allemaal met rijplaten moeten zijn. En niet meer met steenpuin."

"Het is juist die structuurschade, daar zouden ze iets moeten op vinden, dat ze toch eeuwig 50 of 20 of 30 procent eeuwig moeten betalen, drie jaar wat is drie jaar, dat is niets hé. Dat is, dat komt nooit goed, dat kan nooit goed komen."

8.4 Plantaardige productie

Een belangrijk thema dat vaak ter sprake kwam tijdens de interviews is de impact van hoogspanningsinfrastructuur op de plantaardige productie. Er werden verschillende landbouwers geïnterviewd die een akker hadden met een mast of inspectieput, maar ook landbouwers die een weide met een mast of inspectieput hadden en daarnaast enkele serretelers die zowel planten teelden voor menselijke consumptie als sierplanten met een lijn boven de serres. Ook hier wordt een verschil gemaakt tussen impact door de werkzaamheden bij de aanleg van de hoogspanningsinfrastructuur en impact als gevolg van de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur.

De respondenten gaven volgende 7 vormen van impact op de landbouwbedrijfsvoering aan:

- Impact door de werkzaamheden bij de aanleg hoogspanningsinfrastructuur
    - Gronden uit productie tijdens werkzaamheden
    - Bereikbaarheid percelen tijdens werken
    - Schade aan gewassen
- Impact door de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur
    - Moeilijkheden bij landwerkzaamheden
    - Verminderde plantaardige productie
    - Onkruiddruk op mastvoet of inspectieput
    - Controle op draadslachtoffers

De respondenten gaven aan dat de werkzaamheden als belangrijkste gevolg hebben dat ze een deel van hun gronden niet kunnen benutten. De variabele duur van de werkzaamheden heeft ook tot gevolg dat de impact sterk verschillend ervaren wordt. Sommige respondenten gaven aan dat de werken zes maanden duurden terwijl bij anderen deze tot twee jaar en in één geval zelfs tot vijf jaar duurde. Uiteraard hoe langer de werken, hoe groter de ervaren impact. Ook het tijdstip wanneer de gronden weer in gebruik kunnen genomen worden bepaald de productiemogelijkheid. Zo kan het zijn dat een volgende hoofdteelt te laat in het jaar kan gezaaid worden of dat het enkele jaren duurt vooraleer een grasmat de onkruiden verdrongen heeft. Dit verkleind areaal zorgt voor een verkleinde plantaardige productie.

Evenzeer wordt aangehaald dat de werf leidt tot een fragmentatie van het landbouwareaal met negatieve impact op de bereikbaarheid waardoor ze moeilijker of niet te bewerken zijn.
Verder vermeldden enkele respondenten schade gehad te hebben aan gewassen buiten de werfzone.

De aanwezigheid van een mast of inspectieput wordt gezien als een bron van overlast. Zo geven de respondenten aan dat de mast of inspectieput hen hindert bij het sproeien, ploegen, zaaien, maaien, oogsten, etc.
Na de werken blijken respondenten te kampen met een verlaagde plantaardige productie enkele meters rondom de mast of inspectieput en in de werfzone van de aanleg van een kabel met de grootste impact in de zone net boven de kabel, Als verklaringen worden volgende elementen aangehaald: verlaagde bodemvruchtbaarheid door structuurschade aan de bodem, vermenging grond met onvruchtbare ondergrond en het moeilijker kunnen bewerken van de bodem rondom de mast of inspectieput.
De onkruiddruk rond de mastvoet of inspectieput werd door de respondenten unaniem naar voorgeschoven als een aandachtspunt. Alle respondenten vertelden het belangrijk te vinden dat de mastvoet goed onderhouden wordt opdat de onkruiden niet uitzaaien naar het perceel er rond. De meeste landbouwers onderhouden de mastvoet zelf met hun rugsproeier.
Verder werd ook melding gemaakt dat draadslachtoffers vaak worden verwijderd om de kwaliteit van voeder en voedsel te garanderen.
Door deze moeilijkheden kiezen sommige respondenten ervoor om het stuk akker waar de mast staat om te vormen tot weide om zo de overlast te verminderen.

"Het eerste jaar, twee jaar stond er veel onkruid. Nu is dat bijna toegegroeid met gras weer. Ik heb er wel wat jong gras ingesmeten, maar toch ja, je zou verwachten dat er meer schade zou geweest zijn, maar dat is meegevallen."

"En vorig jaar zag je het goed, dat is een strook van vijftig meter waar dat die kabels in lagen dat die maïs echt volledig, heel opgedroogd en geen kolven erin."

De respondenten haalden enkele maatregelen aan die Elia trof om de impact op de plantaardige productie te verminderen. Zo kregen de respondenten een compensatie voor hun verlies in plantaardige productie als gevolg van de werkzaamheden. Stukken van percelen die als werf ingenomen waren, stukken van percelen die niet te bewerken waren als gevolg van de onbereikbaarheid en schade aan gewassen buiten de werfzone werden volledig opgenomen in de vergoeding.
De respondenten vertelden bij installatie een vergoeding gekregen te hebben voor oogstverlies door inname mastvoet of inspectieput, teeltverlies rondom de mast of inspectieput, tijdverlies voor het moeilijker bewerken rondom de mast of inspectieput, onkruidbeheer van de mastvoet of inspectieput.

De houdingen tegenover de vergoeding waren verdeeld. Een aantal respondenten gaven aan tevreden te zijn over de vergoedingen voor de teeltschade door de werkzaamheden, andere respondenten vonden de vergoedingen verouderd waardoor ze niet meer de gemiste inkomsten dekken. De compensaties voor de overlast door aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur werden bekritiseerd door de respondenten. Deze vergoedingen worden éénmalig uitbetaald bij installatie. De respondenten vonden deze vergoedingen te laag en merkten op dat deze niet altijd bij de landbouwer terechtkomen die de overlast ondervindt. Aangezien enkele respondenten het perceel pas in gebruik hebben genomen nadat de mast aanwezig was en zij zelf geen akkoord hebben gesloten met Elia, was het voor hen ook onduidelijk wie de mastvoet moest onderhouden.

Hoewel het landschap soms ingrijpend is veranderd door het rooien van bomen om de hoogspanningslijn aan te leggen, vertelden landbouwers geen voorstander te zijn van groenschermen. Ze vrezen dat deze overlast zullen bezorgen bij de plantaardige productie.

"Die gebruikers zijn daar over vijftig jaar voor vergoed, maar eigenlijk zou dat op jaarbasis moeten zijn hé. Dat ge dat elk jaar, dat moeten geen schatten zijn, maar ik vind toch, ge hebt er toch last van en onder die hoogspanningslijnen, ge hebt meer kans dat er onkruid groeit, ge hebt er misschien wel extra werk mee, ge moet er met uw rugsproeier naar toe, dat ge anders er volledig bij met de grote spuit kunt spuiten, of over volledig dat land, of maait maar je moet eraf blijven, en ja de afstanden respecteren en zo. Dat vind ik wel dat daar een vergoeding zou tegenover moeten staan."

8.5 Dierlijke productie

Er werden verschillende landbouwers geïnterviewd met runderen, zowel melkvee als vleesvee. Ook werden enkele paardenhouders geïnterviewd. Verder hadden enkele landbouwers varkens in het verleden. Er kunnen 3 vormen van impact onderscheiden worden op basis van de ervaring van de landbouwers.

Ervaren impact op dierlijke productie:

- Impact door werkzaamheden bij de aanleg hoogspanningsinfrastructuur
    - Niet kunnen beweiden van runderen of paarden
- Impact door aanwezigheid hoogspanningsinfrastructuur
    - Bezorgdheid botulisme
    - Dieren gebruiken de mast als wrijfplaats en schaduwplaats

De respondenten meldden als gevolg van de werkzaamheden alternatieven te moeten zoeken voor het beweiden van hun dieren omdat weiden ingenomen werden als werfzone. De landbouwers moesten stukken van de wei afmaken of in uitzonderlijke gevallen de dieren op stal houden voor enkele dagen.
De meest voorkomende bekommernis als gevolg van de aanwezigheid van een hoogspanningslijn bij de rundveehouders ging over botulisme. Echter geen enkele respondent had hierdoor al schade ondervonden. Wel zijn enkele respondenten zeer opmerkzaam voor draadslachtoffers in de wei of op de akker. Andere landbouwers vertelden hier minder ongerust over te zijn omdat kadavers onmiddellijk worden opgegeten door andere vogels en hun weiden niet in een drassig gebied liggen waardoor de bacterie *Clostridium botulinum* niet goed kan ontwikkelen.
Als het ging over een verandering in gedrag bij de dieren vertelden de respondenten dat de runderen de mast gebruiken om tegen te wrijven en de betonnen blokken die de masten verstevigen gebruiken als beschutting tegen de zon.

"Als er hier iets dood in de weide ligt gaat dat hier niet liggen rotten, dat gaat opgegeten worden vooraleer dat dat rot is."

De respondenten vertelden dat Elia als maatregel vergoedingen gaf voor het niet kunnen beweiden van de dieren. Die worden uitbetaald volgens het aantal dagen dat de wei niet in gebruik kan genomen worden.

De houding van de respondenten over de vergoedingen was positief, ook de communicatie rond het niet in gebruik kunnen nemen van bepaalde stukken weide verliep volgens hen correct. Ze vertelden geen problemen te ervaren op vlak van de dierlijke productie.

8.6 Bezorgdheid over gezondheid

Onder dit thema vallen alle gevolgen die de hoogspanningsinfrastructuur op het menselijk lichaam heeft of kan hebben. Dit thema was geen deel van de literatuurstudie maar doordat dit thema meerdere keren werd aangehaald bij de respondenten, wordt het opgenomen bij deze beschrijving van de resultaten van het diepte-interview.

Volgende 3 verschillende vormen van impact kunnen onderscheiden worden:

- Bezorgdheid gevolgen EMV
- Zwerfstromen
- Corona-effect

Een duidelijk bezorgdheid over de gevolgen van het EMV van de hoogspanningsinfrastructuur op de gezondheid van zichzelf en hun familie was aanwezig bij zowel respondenten met een lijn boven hun bedrijf als bij respondenten met een kabel. Echter geen enkele respondent relateerde ziektes van hij/zij of een lid van hun familie aan het EMV.
Landbouwers vertelden af en toe stroomstootjes te voelen op weidedraad of metalen voorwerpen. Maar buiten het opschrikken, gaven ze aan hier geen last van te ondervinden.
Alle respondenten die een lijn op hun boerderij hebben, meldden geluid als gevolg van het corona-effect bij vochtig weer. Sommige landbouwers vergeleken het met naast een spoorweg te wonen. Enkele merkten op dat sinds de vernieuwing van de hoogspanningslijn het geluid verminderd was.

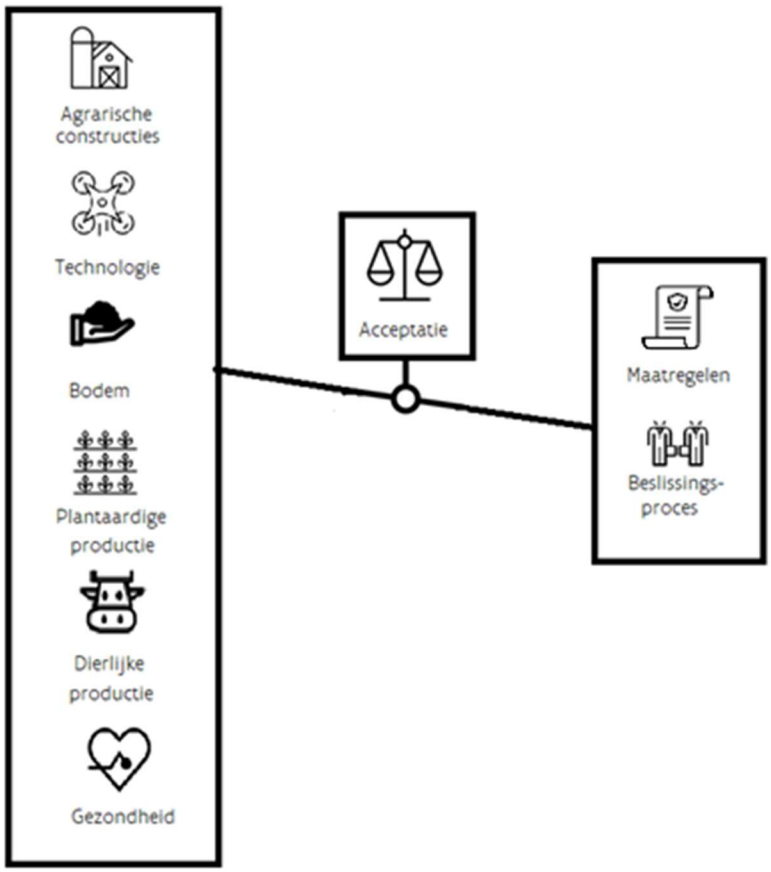
"Bezoekers durven weleens een opmerking maken over dat gezoem van de leidingen, maar wij zijn het al gewoon geworden."

De respondenten melden dat Elia geen **maatregelen** treft rondom hun bezorgdheid over de gezondheidsgevolgen van het EMV.

De **houding** van de respondenten over dit onderwerp loopt uitéén. Sommige respondenten maken zich hier geen zorgen over, terwijl anderen zich afvragen waarom er geen duidelijkheid geschept wordt over dit thema. Ze vinden ook dat indien het onduidelijk is wat de gevolgen zijn, de overheid het voorzorgsprincipe zou moeten toepassen en lijnen verbieden over woningen of een compensatie geven om een woning te verplaatsen.

8.7 Acceptatie

Figuur 13 toont de relatie tussen de thema's over impact, de maatregelen die Elia treft, het beslissingsproces rond de goedkeuring van hoogspanningsprojecten en de acceptatie bij de respondenten. Een evenwicht tussen het beleid rond de hoogspanningsinfrastructuur, zowel intern bij Elia als door de overheid, en de impact ervaren door de landbouwers in het algemeen kan leiden tot een betere acceptatie.



Figuur 13: Schema relatie thema's over impact, de maatregelen die Elia treft en het beslissingsproces met de acceptatie bij respondenten.

Tijdens de gesprekken met de respondenten was het duidelijk dat geen enkele respondent vragende partij was om hoogspanningsinfrastructuur op zijn gronden te hebben. Alle respondenten gaven aan dat de aanwezigheid ervan hoe dan ook voor overlast zorgt. Echter de acceptatie van die aanwezigheid verschilde tussen de respondenten. Wat daarbij vooral opviel, is dat de respondenten zowel een link met enerzijds de maatregelen die Elia treft en anderzijds het beslissingsproces errond maakten.

Indien de respondenten vonden dat de maatregelen de impact voldoende compenseerden en dat het beslissingsproces rond de goedkeuring van de inplanting van de hoogspanningsinfrastructuur correct verlopen was, accepteerden ze de impact. Indien ze vonden dat ofwel de maatregelen onvoldoende waren of ze te weinig inspraak hadden gekregen in het beslissingsproces was er een vorm van kritiek.
Zo bestond kritiek op de **maatregel** voor de overlast door de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur op de plantaardige productie. De vergoedingen werden te laag ervaren en blijken niet altijd terecht te komen bij diegene die de overlast ondervinden. Ook werd kritiek geuit over de grondprijs die betaald wordt voor de oppervlakte van de mastvoet of inspectieput, waarbij aangegeven werd dat men deze te laag vindt. Een ander punt van kritiek zit in de beperkte duur van de compensatie voor de structuurschade bij de aanleg van een kabel omdat deze te beperkt in de tijd wordt ervaren.
De kritiek op het **beslissingsproces** richtte zich op een gebrek aan inspraak. Sommige respondenten vonden dat omwille van het openbaar nut van deze werken hun stem onvoldoende gehoord werd. Dit kwam vooral naar boven wat betreft de bezorgdheid van het EMV op de gezondheid van zichzelf en familie.

Hoofdstuk 9. Conclusie

9.1 Algemene conclusie deelonderzoeken literatuurstudie

De voorliggende studie geeft een overzicht van de bestaande kennis die verzameld werd rond de impact van hoogspanningsinfrastructuur op agrarische constructies, technologie, plantaardige productie en dierlijke productie. Naast een uitgebreide literatuurstudie werden ook 13 diepte-interviews afgenomen om een beter begrip te hebben van de ervaringen van Vlaamse landbouwers met hoogspanningsinfrastructuur. Uitgangspunt van dit onderzoek is de onderzoeksvraag "*Wat is de bestaande wetenschappelijke kennis over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering en welke ervaringen hebben Vlaamse landbouwers hiermee?*". Doorheen het onderzoek bleef deze onderzoeksvraag onveranderd. Bij de zoekopdracht in de databronnen van wetenschappelijke literatuur werd gewerkt met volgende basis zoektermen ["magnetic field*" OR "electric field*" OR "extremely low frequency" OR "ELF" OR "EMF" OR "electromagnetic field*" OR "high voltage" OR "powerline"]. Deze zoekopdracht in de database van Web of Science leverde in totaal 191.144 artikels op. Na de zoekopdracht met specifieke zoektermen, werd een eerste selectie uitgevoerd op basis van de titel van het artikel. Binnen de weerhouden selectie, werd de verdere relevantie van een artikel bepaald door de abstract te lezen. In totaal werden 733 abstracts gelezen waarvan uiteindelijk 73 artikels weerhouden werden. Naast de peer-reviewed artikels, werden nog 87 bronnen uit de grijze literatuur geraadpleegd. In vergelijking met onderzoek naar de gevolgen van bijvoorbeeld de klimaatsverandering op agrarische bedrijfsvoering, is de beschikbare literatuur eerder beperkt.

Nabij een hoogspanningslijn moet er in **agrarische constructies** voldoende aandacht worden besteed aan het aarden van de constructie en van stalonderdelen zoals hekkens en drinkbakken, wil men schrikreacties van vee vermijden.
Versnelde corrosie van ondergrondse metalen constructies en leidingen die over grote afstand parallel aan een hoogspanningslijn lopen, is een gekend fenomeen. Of ook bovengrondse metalen constructies versneld corroderen in het EMV van de hoogspanningslijn werd niet in de literatuur teruggevonden. Ook over versnelde metaalmoeheid in constructies nabij een hoogspanningslijn kon niets worden teruggevonden.

De impact van hoogspanningsinfrastructuur op **technologie** wordt onderverdeeld in 3 aspecten: verstoring door fysieke aanwezigheid hoogspanningslijn, signaalverstoring (elektromagnetische interferentie) en verstoorde werking van elektronica door geïnduceerde spanningen.
In de literatuur wordt beschreven dat de fysieke aanwezigheid van de hoogspanningslijn voornamelijk een belemmering vormt voor nauwkeurige plaatsbepaling en voor het inzetten van drones. Weerkaatsing van GNSS-signalen op de fasedraden, aardkabel en mast kan voor verlies of afwijking van het GNSS-signaal zorgen. Dit gebeurt echter niet frequent en slechts kortstondig, waardoor navigatie hier meestal geen hinder van ondervindt. Ook GNSS-correctiesignalen kunnen worden gereflecteerd, met verminderde nauwkeurigheid van de navigatie tot gevolg. De impact daarvan is groot, aangezien nauwkeurige en betrouwbare navigatie voor veel precisielandbouwtoepassingen van cruciaal belang is. Voor drones vormt de hoogspanningslijn een obstakel waarvan afstand bewaard moet worden. Dronepiloten geven aan het vliegen nabij een hoogspanningslijn als een risicovolle onderneming te beschouwen die om de nodige voorzorgsmaatregelen vraagt. Volgens de huidige wetgeving moeten drones 30m afstand van de hoogspanningslijn bewaren. Mits het uitvoeren van een risicoanalyse, kan hiervoor echter een uitzondering worden aangevraagd, zodat dichter bij de lijn gevlogen kan worden. In 90% van de gevallen kan niet onder de lijn door gevlogen worden. Over de lijn vliegen is in 90% van de gevallen wel mogelijk, maar een dergelijke hoge vlieghoogte maakt dat het veld aan minder hoge resolutie in kaart kan worden gebracht dan voor bepaalde precisielandbouwtoepassingen nodig is.

In de literatuur wordt signaalverstoring zelden als een probleem beschreven. De beschreven effecten op sensoren en bij draadloze communicatie zijn gerelateerd aan de veel hogere frequenties dan de frequenties van het Ventilus-project. De kans dat bij deze lagere frequenties van het Ventilus-project signaalstoring zou optreden wordt zeer klein geacht. Een uitzonderdering is de EMI-sensor die door zijn grote gevoeligheid voor magnetische velden door het magnetisch veld van de hoogspanningslijn kan worden beïnvloed. Ook GNSS(-correctie)signalen zouden mogelijks bij het voorkomen van gap- of corona-ontlading kunnen worden verstoord, maar dit is nog onvoldoende onderzocht.
De impact van geïnduceerde spanningen op de werking van elektronica is erg onzeker, aangezien deze van veel factoren afhankelijk is. De enige uitspraak die hierover kan worden gedaan is dat, wanneer de generieke normen gehanteerd worden, elektronica in principe tegen een magnetische veldsterkte van minstens 30A/m bestand is. Hoewel de sterkte van het veld erg fluctueert en afhangt van de architectuur van de lijn, kan worden aangenomen dat de magnetische veldsterkte op 1,5m boven het maaiveld en op meer dan 15m naast de fasedraden in de lucht, praktisch nooit de drempel van 30A/m zal overschrijden. Gebruik van elektronica die aan de normen voldoet, zou dan ook geen problemen mogen opleveren.

Hoogspanningslijnen, zowel bovengrondse als ondergrondse verbindingen, kunnen een significante impact hebben op de **plantaardige productie en bodem(kwaliteit)** van doorkruiste landbouwpercelen. Grootschalige constructiewerken in het veld kunnen semipermanent structuurbederf veroorzaken tot diep in de ondergrond, maar zolang aandacht wordt geschonken aan het bodemvochtgehalte bij aanleg en preventieve maatregelen, zoals metalen rijplaten en steenslag, worden toegepast, kan het risico op bodemverdichting sterk gereduceerd worden. De aanleg zal ook de aanwezige drainagesystemen beschadigen of doorsnijden. Een belangrijk hiaat in de wetenschappelijke literatuur is de impact van zwaar landbouwverkeer op de bodem na de aanleg van hoogspanningslijnen.
De aanwezigheid van hoogspanningslijnen kan gewasproductie op verscheidene wijzen beïnvloeden. Zo wordt door bovengrondse of ondergrondse lijnen op geregelde afstanden een zeker gedeelte aan het teeltoppervlak onttrokken voor plaatsing van respectievelijk mast (200 - 250m^2) of inspectieput (225m^2). Deze permanente structuren vormen ook een obstakel voor allerhande landbouwkundige toepassingen en veroorzaken extra kopakkers, met het daaruit voortvloeiend structuurbederf. Daarnaast kunnen de uit het teeltoppervlak onttrokken zones, afhankelijk van beheer, een bron vormen voor nuttige organismen, zoals bijen, zweefvliegen en lieveheersbeestjes, of plagen, pathogenen en onkruiden. Bij bovengrondse lijnen moet bij irrigatie en het laden en transporteren van stro rekening gehouden worden met de veilige doorrijhoogte. Bij regenval en zeer koud weer moet dan weer rekening gehouden worden met respectievelijk drupschade en ijsval. Beide schadevormen lijken echter weinig voor te komen onder de Vlaamse condities van het Ventilus-project.
De kennis over de impact van elektromagnetische velden, gecreëerd door de wisselstroom hoogspanningslijnen, op nuttige organismen is eerder beperkt en niet eenduidig. Negatieve gevolgen voor het leervermogen, geheugen en agressief gedrag van bijen zijn mogelijk, maar met de bestaande wetenschappelijke literatuur is het niet mogelijk om sluitende conclusies te trekken voor veldsterktes die realistisch zijn voor het Ventilus-project.
Verscheidene andere bezorgdheden van landbouwers blijken uit de bestaande wetenschappelijke literatuur geen significante invloed te hebben op gewasproductie en bodem. Zo bestaat er geen bewijs van negatieve effecten door de warmte-emissie van ondergrondse verbindingen. De gecreëerde elektromagnetische velden lijken ook geen sluitende effecten te hebben op gewassen en bodemleven. Botulisme door draadslachtoffers lijkt geen groot risico te vormen voor de voedselveiligheid en eventuele zinkvervuiling rondom masten heeft weinig invloed op gewas, bodemleven en voedselveiligheid.

Op basis van de literatuurstudie over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op **dierlijke productie** kan geconcludeerd worden dat de wetenschappelijke literatuur eerder beperkt is en

niet eenduidig. Sinds de jaren '80 is onderzoek gedaan naar het effect van ELF EMV bij koeien. In enkele studies werd aangetoond dat elektromagnetische velden een negatief effect hebben op de immuniteit en productiviteit. Echter zijn de effecten klein of wordt verwacht dat de effecten in praktijkomstandigheden niet zouden voorkomen, omdat vaak geen continue blootstelling voorkomt en de EMV kleiner zijn in het Ventilus-project dan in de proeven. Andere studies die wel duidelijk negatieve effecten aantonen, onderzochten meestal waardes hoger dan die in België voorkomen.
Er is slechts weinig onderzoek gedaan naar de impact van aardmagnetische velden op het gedrag van runderen. Uit onderzoek van één onderzoeksgroep zou blijken dat koeien deze velden kunnen waarnemen en van nature een voorkeurs oriëntatie hebben ten opzicht van deze velden. Maar in de nabijheid van hoogspanningslijnen gaan ze zich anders gedragen. Echter is een directe link van deze gedragsverandering met het welzijn van de dieren niet onderzocht. Deze resultaten worden door een ander onderzoek ook tegengesproken. Ondanks meerdere onderzoeken zijn er geen éénduidige conclusies dat de EMV een beduidende impact zouden hebben op de productie of fysiologische parameters. Er is echter ook te weinig kennis om te besluiten dat die effecten er niet kunnen zijn.
Bij pluimvee, en dan vooral bij kippenembryo's is meer onderzoek uitgevoerd. Echter zijn de resultaten niet eenduidig. De grote verschillen in resultaten kunnen te wijten zijn aan genetica, proefopzet of andere variabelen. Desondanks toont een groot deel van de studies negatieve effecten van elektromagnetische velden op groei (10μT) en ontwikkeling (4μT) van de embryo's bij relatief lage gehaltes. Daarom is het van belang, bij het analyseren van artikels, goed te kijken naar de technische specificaties gebruikt in de proefopzet.
Enkele studies toonden negatieve effecten aan van elektromagnetische velden bij een relatief lage blootstelling. Bij kalkoenen werden gedragsveranderingen waargenomen bij een blootstelling van 10μT, bij melkkoeien een mindere melkproductie bij 20μT en de immuniteit van lammeren werd negatief beïnvloed bij 3,5 μT.
Door gebrek aan wetenschappelijk onderzoek en consensus binnen de gedane onderzoeken blijft het moeilijk te concluderen dat er ernstige gevolgen kunnen zijn noch dat ze kunnen uitgesloten worden.

9.2 Integratie diepte-interviews en literatuurstudie

Wat betreft de impact van hoogspanningsinfrastructuur op **agrarische constructies** is duidelijke beschreven in de literatuur dat het belangrijk is alle metalen onderdelen van een aarding te voorzien aangezien zwerfstromen een impact kunnen hebben, bijvoorbeeld op de dierlijke productie. Uit de diepte-interviews bleken de respondenten deze zwerfstromen op te merken, en gaven ze inderdaad aan dat deze worden weggenomen met een extra aarding. Geen enkele respondent vertelde hier schade door te hebben. Schade aan agrarische constructies of infrastructuur die de respondenten vermeldden werd toegebracht tijdens de werkzaamheden of kwam voor bij serretelers als gevolg van draadslachtoffers. Er was geen literatuur over AC-corrosie bij bovengrondse metalen constructies aanwezig, echter tijdens de diepte-interviews vertelde één respondent dit wel ervaren te hebben.
Correcte vergoedingen bij schade, correcte aarding van metalen constructies, gebruik van veiligheidsglas voor serres onder een hoogspanningslijn, het plaatsen van vogelkrullen op die lijn en het gebruik van hogere masten voor de lijn boven een hoeve zijn allen maatregelen die kunnen bijdragen tot de acceptatie van de hoogspanningsinfrastructuur.

De impact op **technologie** werd nog maar weinig onderzocht. Er is geen reden om aan te nemen dat er hinder verwacht wordt bij elektrische apparatuur die voldoet aan de EMC-richtlijnen en bij de meeste sensoren vermeld in deze studie. De aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur zorgt echter wel voor enkele beperkingen zoals het inzetten van de EMI-sensor, omwille van signaalverstoring, en het gebruik van drones. Voor die laatste moet meestal immers

een afwijking van de standaardregel van 30m afstand ten opzichte van obstakels worden aangevraagd, opdat met de drone het onderliggend veld volledig en aan de gewenste resolutie in kaart kan worden gebracht. Het sporadisch voorkomen van een verminderde precisie van GNSS, hetzij door reflectie, hetzij door signaalinterferentie door gap- en corona-ontlading vereist extra onderzoek om de precieze impact te kunnen definiëren. Uit de diepte-interviews blijkt dat de respondenten tot nu toe weinig gebruik maken van deze technologieën en dus op vandaag weinig impact ondervinden. Precisielandbouw is echter in opmars in Vlaanderen, waardoor hoogspanningsinfrastructuur in de toekomst een impact kan hebben op het inzetten van drones en EMI-sensoren en mogelijk ook op de nauwkeurigheid van plaatsbepaling, die voor veel precisielandbouwtoepassingen noodzakelijk is.

De beschreven impact van hoogspanningsinfrastructuur op **plantaardige productie en bodemkwaliteit** blijkt voornamelijk gerelateerd aan de werkzaamheden. Zo zijn er delen van het perceel die ingericht worden als werfzones en kan door het berijden met zware machines de bodemstructuur beschadigd worden. Uit de interviews kwam duidelijk naar voor dat vergoedingen voor het teeltverlies en preventieve maatregelen voor de structuurschade de schade kunnen verminderen en compenseren. Sommige respondenten vonden de vergoedingen voor het teeltverlies te laag, anderen waren er tevreden over. Respondenten die een kabel in hun perceel lopen hebben waren eerder niet (of vaak minder) tevreden over de vergoeding voor oogstverlies als gevolg van structuurschade. De aanwezigheid van de mast of inspectieput zorgt ook voor een blijvende impact, zowel op het verlies aan teeltoppervlakte als op het de aanwezigheid van een obstakel waar rond moet gewerkt worden. Vergoedingen worden door Elia uitbetaald maar respondenten gaven aan dat deze vergoedingen niet voldoende de impact dekken en niet altijd bij de landbouwers die de impact ervaren terechtkomen. Dit creëert bijkomende verwarring bij respondenten over wie verantwoordelijk is voor het onderhoud van de mastvoet.

Ondanks de bezorgdheden rond **dierlijke productie**, werd in de literatuur geen eenduidig effect gevonden van hoogspanningsinfrastructuur op welzijn, gezondheid en productiviteit. Uit de diepte-interviews bleek dat de respondenten geen impact op de dierlijke productie merkten. De bezorgdheid rond botulisme bij de respondenten is begrijpelijk aangezien de impact zeer ernstig kan zijn, toch blijkt uit de literatuur dat er een zeer kleine kans is op het optreden van deze ziekte bij runderen. Bij broeierijen in de buurt van hoogspanningsinfrastructuur roepen de huidige wetenschappelijke bevindingen op tot enige waakzaamheid.

De impact rond de **gezondheid** op de landbouwers en hun familie was geen onderdeel van de literatuurstudie. Wel was dit een thema dat tijdens de diepte-interviews aan bod kwam. De bezorgdheid kan gelinkt worden aan de onduidelijkheid over dit thema. Respondenten vroegen dan ook meer duidelijkheid en indien er onzekerheid is te opteren voor het voorzorgsprincipe. Algemeen concluderend kan gesteld worden dat uit het literatuuronderzoek blijkt dat de hoogspanningsinfrastructuur op verschillende gebieden van de agrarische bedrijfsvoering een impact heeft. Ook uit de diepte-interviews bleek dat de respondenten hierover heel wat te vertellen hadden, en daarbij leek het dat in alle openheid informatie gedeeld werd.

Hoewel vaak dezelfde thema's werden besproken was er een duidelijk verschil in **acceptatie** van de impact bij de respondenten. De impact die ze ondervonden, werd vaak in relatie gebracht met de maatregelen die Elia neemt, in mindere mate kwam het beslissingsproces ook aan bod. Zo werd de impact als gevolg van de werkzaamheden beter geaccepteerd omdat men de maatregelen die Elia trof meestal voldoende vond. De impact die de respondenten ervaren als gevolg van de aanwezigheid van de hoogspanningsinfrastructuur op lange termijn wordt minder geaccepteerd. Daarbij was er zowel kritiek op de maatregelen die Elia neemt als op het beslissingsproces. Respondenten haalden aan dat de vergoedingen voor geleden schade op lange termijn te laag waren en dat ze meer transparantie wensen in het beslissingsproces. Een evenwicht tussen het beleid rond de hoogspanningsinfrastructuur zowel van Elia als van de

overheid en de impact ervaren door de landbouwers in het algemeen werd naar voorgeschoven als een manier om de graad van acceptatie te verhogen.

Referenties

Abdollahi, L., Munkholm, L. J., & Garbout, A. (2014). Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality: II. Pore Characteristics. *Soil Science Society of America Journal, 78*(1), 271-279. doi:10.2136/sssaj2013.07.0302

Agro Consultancy. (2016). Impact van een nieuwe hoogspanningslijn.

Aksoy, H., Unal, F., & Ozcan, S. (2010). Genotoxic Effects of Electromagnetic Fields from High Voltage Power Lines on Some Plants. *International Journal of Environmental Research, 4*(4), 595-606.

Alakukku, L. (1996). Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research, 37*, 211-222.

Algers, B., & Hennichs, K. (1985). The effect of exposure to 400 kV transmission lines on the fertility of cows. A retrospective cohort study. *Preventive Veterinary Medicine, 3*(4), 351-361.

Algers, B., & Hultgren, J. (1987). Effects of long-term exposure to a 400-kV, 50-Hz transmission line on estrous and fertility in cows. *Preventive Veterinary Medicine, 5*(1), 273-282.

ANSES. (2015). Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques - Avis de l'ANSES.

Arcadis. (2017). Kennisgeving project-MER "Vervangen geleiders van Horta tot Avelgem". *Elia Engineering*.

Bancroft, J. B., Morrison, A., & Lachapelle, G. (2016). Validation of GNSS under 500,000V Direct Current (DC) transmission lines. *Computers and Electronics in Agriculture, 83*, 58-67. doi:*https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.01.013*

Batey, T. (2015). The installation of underground pipelines: effects on soil properties. *Soil Use and Management, 31*(1), 60-66. doi:10.1111/sum.12163

Beard, R. W., & McLain, T. W. (2012). In Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice (p. 133). . *Princeton University Press, Princeton, NJ.*

Begall, S., Burda, H., Cerveny, J., Gerter, O., Neef-Weisse, J., & Nemec, P. (2011). Further support for the alignment of cattle along magnetic field lines: reply to Hert et al. *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol, 197*(12), 1127-1133; discussion 1135-1126. doi:10.1007/s00359-011-0674-1

Begall, S., Cerveny, J., Neef, J., Vojtech, O., & Burda, H. (2008). Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer.

Begall, S., Malkemper, E. P., Červený, J., Němec, P., & Burda, H. (2013). Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mammalian Biology, 78*(1), 10-20. doi:10.1016/j.mambio.2012.05.005

Berisso, F. E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Simojoki, A., Iversen, B. V., . . . Forkman, J. (2013). Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. *Geoderma, 195-196*, 184-191. doi:10.1016/j.geoderma.2012.12.002

Berli, M., Kulli, B., Attinger, W., Keller, M., Leuenberger, J., Flühler, H., . . . Schulin, R. (2004). Compaction of agricultural and forest subsoils by tracked heavy construction machinery. *Soil and Tillage Research, 75*(1), 37-52. doi:10.1016/s0167-1987(03)00160-0

Berman, E., Chacon, L., House, D., Koch, B. A., Koch, W. E., Leal, J., . . . et al. (1990). Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. *Bioelectromagnetics, 11*(2), 169-187. doi:10.1002/bem.2250110208

Bernabo, N., Tettamanti, E., Russo, V., Martelli, A., Turriani, M., Mattoli, M., & Barboni, B. (2010). Extremely low frequency electromagnetic field exposure affects fertilization outcome in swine animal model. *Theriogenology, 73*(9), 1293-1305. doi:10.1016/j.theriogenology.2009.12.010

Bernardino, J., Martins, R. C., Bispo, R., & Moreira, F. (2019). Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A meta-analysis and guidelines for field studies. *J Environ Manage, 252*, 109651. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109651

Bianchi, F. J. J. A., Goedhart, P. W., & Baveco, J. M. (2008). Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands. *Landscape Ecology, 23*(5), 595-602. doi:10.1007/s10980-008-9219-6

Biasotto, L. D., & Kindel, A. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review, 71*, 110-119. doi:10.1016/j.eiar.2018.04.010

Blettner, M., & Merzenig, H. (2014). EMF- A Definition. In M. Röösli (Red.). *Epidemiology of Electromagnetic fields*, 1-2.

Brent, R. L. (1999). Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: a review of in vivo and in vitro studies using animal models. . *Teratology, 59*(4), 261-286. doi:doi:10.1002/(SICI)1096-9926(199904)59:4<261::AID-TERA12>3.0.CO;2-K

Broeckaert, L., Van Roey, S., De Schietere, T., & De Lophem, L. (2012). Centrale Elektriciteitsproductie.

Broucek, J., Mihina, S., Uhrincat, M., & Waiblinger, S. (2002). Effect of low magnetic field on calves during prenatal development.

Broucek, J. J., & Arave, C. W. (2003). Effect of low magnetic field on dairy cows and their calves.

Büchler, M., & Schöneich, H. G. (2009). Investigation of alternating current corrosion of cathodically protected pipelines: Development of a detection method, mitigation measures, and a model for the mechanism. *Corrosion, 65(9)*, 578–586. doi:*https://doi.org/10.5006/1.3319160*

Burchard, J., Monardes, H., & Nguyen, D. (2003). Effect of 10 kV, 30 microT, 60 Hz electric and magnetic fields on milk production and feed intake in nonpregnant dairy cattle. *Bioelectromagnetics, 24*(8), 557-563. doi:10.1002/bem.10132

Burchard, J., Nguyen, D., & Block, E. (1998a). Effects of electric and magnetic fields on nocturnal melatonin concentrations in dairy cows. *Joernal of Dairy Science, 81*(3), 722-727.

Burchard, J., Nguyen, D., & Block, E. (1998b). Progesterone concentrations during estrous cycle of dairy cows exposed to electric and magnetic. *Bioelectromagnetics, 19*(7), 439-443.

Burchard, J., Nguyen, D., & Block, E. (1999). Macro- and trace element concentrations in blood plasma and cerebrospinal fluid of dairy vows exposed to electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics, 20*(6), 358-364.

Burchard, J., Nguyen, D., Richard, L., & Block, E. (1996). Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows. *Journal of Dairy Science, 79*(9), 1549-1554.

Burchard, J., Nguyen, D., Richard, L., Young, S., Heyes, M., & Block, E. (1998c). Effects of electromagnetic fields on the levels of biogenic amine metabolites, quinolinic acid, and beta-endorphin in the cerebrospinal fluid of dairy cows. *Neurochemical Research, 23*(12), 1527-1531.

Burchard, J., Nguyen, D., & Rodriguez, M. (2006). Plasma concentrations of thyroxine in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics, 27*(7), 553-559. doi:10.1002/bem.20253

Burda, H., Begall, S., Cervený, J., Neef, J., & Nemec, P. (2009). Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *PNAS, 106*(14).

CFSPH. (2018). Botulism. *The Center for Food Security and Public Health*. doi:*http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/botulism.pdf*

Chen, G., & Weil, R. R. (2009). Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil, 331*(1-2), 31-43. doi:10.1007/s11104-009-0223-7

Clarke, D., Morley, E., & Robert, D. (2017). The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception. *J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol, 203*(9), 737-748. doi:10.1007/s00359-017-1176-6

Corrigan, S. (2002). Introduction to the Controller Area Network (CAN). *May, 1–17.*

Cox, C. F., Brewer, L. J., Raeman, C. H., Schryver, C. A., Child, S. Z., & Carstensen, E. L. (1993). A test for teratological effects of power frequency magnetic fields on chick embryos. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 40*(7).

D'Haene, K., Laurijssens, G., Van Gils, B., De Blust, G., & Turkelboom, F. (2010). Agrobiodiversiteit: Een steunpilaar voor de 3de generatie agromilieumaatregelen?

da Silva, M. F., Honório, L. M., Marcato, A. L. M., Vidal, V. F., & Santos, M. F. (2020). Unmanned aerial vehicle for transmission line inspection using an extended Kalman filter with colored electromagnetic interference. *ISA Transactions, 100*, 322-333. doi:*https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.11.007*

De Win, J., & Vervaeke, I. (2015). Akkerranden: Een bundeling van ervaringen en literatuur.

De Jong, E., & Button, R. G. (1973). Effects of pipeline installation on soil properties and productivity *Canadian Journal of Soil Science, 53*, 37-47.

Dimitrijevic, D., Janać, B., & Savić, T. (2013). Temporal pattern of Drosophila subobscura locomotor activity after exposure to extremely low frequency magnetic field (50 Hz, 0.5 mT). *Dros. Inf. Serv., 96*.

Direction de la Géométrologie. (z.d.). Le réseau WALCORS. . *Portail Walcors*. doi:Geraadpleegd 16 september 2019, van *https://gnss.wallonie.be/walcors/reseau-walcors.html*

Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. (2009). The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems. *Journal of geodesy, 83 (3-4)*, 191-198.

Eldegard, K., Eyitayo, D. L., Lie, M. H., & Moe, S. R. (2017). Can powerline clearings be managed to promote insect-pollinated plants and species associated with semi-natural grasslands? *Landscape and Urban Planning, 167*, 419-428. doi:10.1016/j.landurbplan.2017.07.017

Elsen, F., Beckers, V., Diels, J., Van Orshoven, J., Wauters, S., & Huybrecht, M. (2014). Praktijkonderzoek naar de toepassing van preventieve en remediërende maatregelen tegen bodemaantasting door bodemverdichting.

EMFs Info. (z.d.). Finding out more: power lines and satellite navigation. *emfs.info*. doi:Geraadpleegd 26 september 2019, van *http://www.emfs.info/more/more-issues/gps/*

ESA. (2018). EGNOS Signal Structure. *ESA Navipedia*. doi:*https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/EGNOS_Signal_Structure*

Etana, A., Larsbo, M., Keller, T., Arvidsson, J., Schjønning, P., Forkman, J., & Jarvis, N. (2013). Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. *Geoderma, 192*, 430-436. doi:10.1016/j.geoderma.2012.08.015

Europees parlement en de Raad. (2014). Richtlijn 2014/30/EU van het Europese parlement en de raad van 26 februari 2014 betreffende de harmonisatie van de wetgevingen van de lidstaten inzake elektromagnetische compatibiliteit (herschikking). *Publicatieblad van de Europese Unie, 10*, 79–106.

Europees parlement en de Raad. (2018). Regulation (EU) 2018/1139 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2018 on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency, and amending Regulations (EC). *Publicatieblad van de Europese Unie, 212 (1)*, 24-48.

Evers, J. (2015). *Kwalitatief interviewen: kunst én kunde*.

Ewy, K. A., Stetson, L. E., & Hanson, R. E. (1981). Investigation of power line and irrigation system compatibility. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100*(7).

FAO. (2016). Soil Compaction.

Farrell, J. M., Litovitz, T. L., Penafiel, M., Montrose, C. J., Doinov, P., Barber, M., . . . Litovitz, T. A. (1997). The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryo. *Bioelectromagnetics, 18*(6), 431-438.

Fava, G., Fratesi, R., Ruello, M. L., & Sani, D. (2002). Soil zinc contamination from corrosion of galvanized structures. *Chemical Ecology, 18*, 223-232.

Fedagrim. (2017). Zwerfstromen in de melkstal.

Federale Overheidsdienst Mobiliteit en vervoer. (2016). Koninklijk besluit met betrekking tot het gebruik van op afstand bestuurde luchtvaartuigen in het Belgisch luchtruim.

FOD Economie. (2020). Algemene verklarende nota: herstructurering van het AREI. *AREI*. doi:*https://economie.fgov.be/nl/publicaties/algemeen-reglement-op-de*

fourages. (z.d.). Bodembedekking: Tarwestro. *Website, geraadpleegd 29 juni 2020*.

Galonja Coghill, T., Vekic, L., & Blazo, L. (2010). Electric fields from high-voltage powerlines affect soil *Penicillium sp.* activity in agro-ecosystems *Economics of agriculture, 2*.

Giancoli, D. C. (2014). Natuurkunde Deel 2 Elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica (5de ed.). Pearson.

Goidanich, S., Lazzari, L., & Ormellese, M. (2010). AC corrosion - Part 1: Effects on overpotentials of anodic and cathodic processes. *Corrosion Science, 52(2)*, 491–497. doi:*https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.005*

Goldsmith, W., Silva, M., & Fischenich, C. (2001). Determining Optimal Degree of Soil Compaction for Balancing Mechanical Stability and Plant Growth Capacity.

GPSE. (z.d.). L'electricité dans les exploitations agricoles. *website, Geraadpleegd op 16 juni 2020*. doi:gpse.fr

Greggers, U., Koch, G., Schmidt, V., Durr, A., Floriou-Servou, A., Piepenbrock, D., . . . Menzel, R. (2013). Reception and learning of electric fields in bees. *Proc Biol Sci, 280*(1759), 20130528. doi:10.1098/rspb.2013.0528

Grund, S., & van Genderen, E. (2020). The Minerals, Metals & Materials Series: Material Stewardship for Zinc. *PbZn 2020: 9th International*

Symposium on Lead and Zinc Processing, Part XI PbZn Sustainability.

Guo, Y. B., Liu, C., Wang, D. G., & Liu, S. H. (2015). Effects of alternating current interference on corrosion of X60 pipeline steel. *Petroleum Science, 12(2)*, 316–324. doi:*https://doi.org/10.1007/s12182-015-0022-0*

Hakansson, I. (2005). Compaction of Arable soils. *Department of Soil Sciences Uppsala, 109*.

Håkansson, I., Grath, T., & Olsen, H. J. (1996). Influence of machinery traffic in Swedish farm fields on penetration resistance in the subsoil. *Swedish Journal of Agricultural Research, 26*, 181-187.

Hakansson, I., & Reeder, R. C. (1994). Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research, 29*, 277-304.

Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems. *Soil and Tillage Research, 82*(2), 121-145. doi:10.1016/j.still.2004.08.009

Hefeneider, S. H., McCoy, S. L., & Hausman, F. A. (1998). Long Term Effects of 60Hz Electric vs Magnetic Fields on IL_1 and Other Immune Parameters in Sheep Phase 4 Study. *EPRI, Palo Alto, CA, Report TR-111342*.

Hefeneider, S. H., McCoy, S. L., Hausman, F. A., Christensen, H. L., Takahashi, D., Perrin, N., . . . Hall, A. S. (2001). Long-term effects of 60-Hz electric vs. magnetic fields on IL-1 and IL-2 activity in sheep. *Bioelectromagnetics, 22*(3), 170-177. doi:10.1002/bem.35

Heil, K., & Schmidhalter, U. (2019). Theory and Guidelines for the Application of the Geophysical Sensor EM38. *Sensors, 19*. doi:*https://doi.org/10.33.90/s19194293*

Hert, J., Jelinek, L., Pekarek, L., & Pavlicek, A. (2011). No allignment of cattle along geamagnetic field lines found. *Journal of Comp. Physiology, 197*, 677-682.

Holmes. (2019). Avian botulism – a recurring paralytic disease of wild UK waterbirds. *Surveillance Surveillance Focus*.

Hoogspanningsnet. (z.d.). Lijndansen, spanningsdippen, ijzel en ijsworp: alle feiten in het kort. *Website, geraadpleegd 24 april 2020*. doi:*http://www.hoogspanningsnet.com/lijndansen/*

Horn, R., & Peth, S. (1993). Mechanics of Unsaturated Soils for Agricultural Applications.

Informatie Vlaanderen. (2018). Integratie van Galileo in Flepos.

Jankowska, M., Pawlowska-Mainville, A., Stankiewicz, M., Rogalska, J., & Wyszkowska, J. (2015). Exposure to 50 Hz electromagnetic field changes the efficiency of the scorpion alpha toxin. *J Venom Anim Toxins Incl Trop Dis, 21*, 38. doi:10.1186/s40409-015-0040-9

Jones, R., & Burgess, M. S. E. (1984). Zinc and cadmium in soils and plants near electrical transmission (hydro) towers. *Environmental Science & Technology, 18*, 731-734.

Jones, R., Prohaska, K. A., & Burgess, M. S. E. (1988). Zinc and cadmium in corn plants growing near electrical transmission towers. *Water Air Soil Pollution, 37*, 355-363.

Juutilainen, J. (1991). Effects of low-frequency magnetic fields on embryonic development and pregnancy. *Scand J Work Environ Health, 17*(3), 149-158. doi:10.5271/sjweh.1716

Juutilainen, J. (2005). Developmental effects of electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics, Suppl 7*, S107-115. doi:10.1002/bem.20125

Juutilainen, J., Läära, E., & Saali, K. (1987). Relationship between Field Strength and Abnormal Development in Chick Embryos Exposed to 50 Hz Magnetic Fields. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine, 52*(5), 787-793. doi:10.1080/09553008714552301

Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research, 194*. doi:10.1016/j.still.2019.104293

Kooistra, L., Suomalainen, J., & de Bruin, S. (2014). Onderzoek naar beïnvloeding GNSS-apparatuur en sensortechnologie in akkerbouw door hoogspanningsmasten. *Wageningen University*.

Ladan, S., Aghabarati, A., M., R., F., S., L., Y.,, & Dawalibi, F. P. (2016a). Induced transient currents on stationary vehicles under power lines hit by lightning. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2016-Decem*, 571–575. doi:*https://doi.org/10.1109/APPEEC.2016.7779569*

Ladan, S., Aghabarati, A., Moini, R., Fortin, S., & Dawalibi, F. P. (2016b). Induced Disturbances by High Voltage Transmission Lines on Nearby Stationary Vehicles. *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Conference - Xi'an - China*, 298–302.

Lancaster. (z.d.). Seed list. *Website*. doi:*https://www.lancaster.ac.uk/lec/sites/ecostac/seed_list.php*

Laszlo, A. M., Ladanyi, M., Boda, K., Csicsman, J., Bari, F., Serester, A., . . . Radacs, M. (2018). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on turkeys. *Poult Sci, 97*(2), 634-642. doi:10.3382/ps/pex304

Lichter, J., & Lindsey, P. (1994). The use of surface treatments for the prevention of soil compaction during site construction. *Journal of Arboriculture, 20*(4).

Locke, L. N., & Friend, M. N. (1989). Avian Botulism: Geographic Expansion of a Historic Disease. *Waterfowl Management Handbook. 3*.

Löfkvist, J. (2005). Modifying Soil Structure Using Plant Roots.

Loomans, A. J. M., & Scholte, E.-J. (2007). Plaaginsecten en agro-biodiversiteit. *Entomologische Berichten, 67*(6), 241-245.

Mahmood, M., Bee Bee, O., Mohamed, M. T. M., & Subramaniam, S. (2013). Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll
content and peroxidase enzyme activity in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)
leaves. *Emirates Journal of Food and Agriculture, 25*(6). doi:10.9755/ejfa.v25i6.15583

Malcom, J. M. (1982). Bird Collisions with a Power Transmission Line and Their Relation to Botulism at a Montana Wetland. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006), 10*(4), 297-304.

Malkemper, E. P., Tscheulin, T., Vanbergen, A. J., Vian, A., Balian, E., & Goudeseune, L. (2018). The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Current knowledge overview: a background document to the web conference: A report of the EKLIPSE project.

Matikainen, L., Lehtomäki, M., Ahokas, E., Hyyppä, J., Karjalainen, M., Jaakkola, A., . . . Heinonen, T. (2016). Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 119*, 10–31. doi:*https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.04.011*

Maziah, M. (2012). Effects of electromagnetic field of 33 and 275 kV influences on physiological, biochemical and antioxidant system changes of leaf mustard (Brassica chinensis). *African Journal of Biotechnology, 11*(66). doi:10.5897/ajb11.1502

Miralles, F., Hamelin, P., Lambert, G., Lavoie, S., Pouliot, N., Montfrond, M., & Montambault, S. (2018). LineDrone Technology: Landing an Unmanned Aerial Vehicle on a Power Line.

Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 6545–6552. doi:*https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8461250*

Mortelmans, D. (2013). Handboek kwalitatieve onderzoeksmethoden.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering, 114(4)*, 358–371. doi:*https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009*

Munkholm, L. J., Schjønning, P., Jørgensen, M. H., & Thorup-Kristensen, K. (2005). Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing. *Soil and Tillage Research, 80*(1-2), 159-170. doi:10.1016/j.still.2004.03.016

Naeth, M. A., McGill, W. B., & Bailey, A. W. (1987). Persistence of changes in selected soil chemical and physical properties after pipeline installation in Solonetzic native rangeland. *Canadian Journal of Soil Science, 67*, 747-763.

Nahas, M., Saadani, A., Charles, J. P., & El-Bazzal, Z. ((2012). Base stations evolution: Toward 4G technology *19th International Conference on Telecommunications, ICT 2012, Ict*. doi:*https://doi.org/10.1109/ICTEL.2012.6221277*

National Coordination Office for Space-Based Positioning Navigation and Timing. (2017a). GPS Accuracy. doi:*https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/*

National Coordination Office for Space-Based Positioning Navigation and Timing. (2017b). New civil signals. doi:*www.gps.gov*

Natuurpunt. (2019). Elia hangt 'Firefly's' aan hoogspanningslijnen zodat deze beter zichtbaar zijn voor vogels. *Website, geraadpleegd 24 april 2020*. doi:*https://www.natuurpunt.be/nieuws/elia-hangt-%E2%80%98fireflys%E2%80%99-aan-hoogspanningslijnen-zodat-deze-beter-zichtbaar-zijn-voor-vogels*

Nelissen, V., Van Daele, S., Verdonckt, P., Reheul, D., Pardon, P., & Reubens, B. (2017). Teelttechnische impact. *Agroforestry*.

New Holland. (z.d.). TH-serie verreikers en voorladers. *Website, geraadpleegd op 19 juni 2020*. doi:*https://agriculture.newholland.com/eu/nl-nl/uitrusting/producten/verreikers-en-voorladers/th-serie/modellen*

Nguyen, P., Ravindranathan, M., Nguyen, A., Han, R., & Vu, T. (2016). Investigating cost-effective RF-based detection of drones. *DroNet 2016 - Proceedings of the 2nd Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use, co-located with MobiSys 2016*, 17–22. doi:*https://doi.org/10.1145/2935620.2935632*

Park, J. Y., Kim, S. T., Lee, J. K., Ham, J. W., & Oh, K. Y. (2020). Method of operating a GIS-based autopilot drone to inspect ultrahigh voltage power lines and its field tests. *Journal of Field Robotics, 37(3)*, 345–361. doi:*https://doi.org/10.1002/rob.21916*

Parkinson, B. W., & Enge, P. K. (1996). Differential gps. *In Global positioning system: Theory and applications*, 3–50.

Parmar, J. (2011). What is Corona Effect? . *Electrical Notes and Articles*. doi:*https://electricalnotes.wordpress.com/2011/03/23/what-is-corona-effect/*

Parsch, L. D., & Norman, M. D. (1986). Impact of powerlines on cost of crop production.

Pawlak, K., Sechman, A., Nieckarz, Z., & Wojtysiak, D. (2013). Effect of weak electromagnetic field on cardiac work, concentration of thyroid hormones and blood aminotransferase level in the chick embryo. *Acta Vet Hung, 61*(3), 383-392. doi:10.1556/AVet.2013.014

Pulido-Moncada, M., Katuwal, S., Ren, L., Cornelis, W., & Munkholm, L. (2020). Impact of potential bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. *Geoderma, 363*. doi:10.1016/j.geoderma.2019.114154

Pustkowiak, S., Banaszak-Cibicka, W., Mielczarek, L. E., Tryjanowski, P., & Skorka, P. (2018). The association of windmills with conservation of pollinating insects and wild plants in homogeneous farmland of western Poland. *Environ Sci Pollut Res Int, 25*(7), 6273-6284. doi:10.1007/s11356-017-0864-7

Raad van State. (2018). Bestuursrecht. *Website, geraadpleegd 24 april 2020*. doi:*https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RVS:2018:2672*

Raine, N. E., & Chittka, L. (2008). The correlation of learning speed and natural foraging success in bumblebees. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol.Sci*. 275, 803–808.

Raoul, D. (2010). The health and environmental effects of electromagnetic fields produced by high and extra high voltage lines.

Rassmus, J., Geiger, S., Herden, C., Brakelmann, H., Stammen, J., Dongping Zhang, R., . . . Jensen, M. (2009). Naturschutzfachli-che Analyse von küstennahen Stromleitungen, FuE-Vorhaben (FKZ 80682070), Endbe-richt, Bundesamt für Naturschutz. Bad Godesberg

doi:*https://docplayer.org/16276646-Naturschutzfachliche-analyse-von-kuestennahen-stromleitungen.html*

Rigalma, K., Duvaux-Ponter, C., Barrier, A., Charles, C., Ponter, A. A., Deschamps, F., & Roussel, S. (2010). Medium-term effects of repeated exposure to stray voltage on activity, stress physiology, and milk production and composition in dairy cows. *J Dairy Sci, 93*(8), 3542-3552. doi:10.3168/jds.2009-2903

Roda-Murillo, O., Roda-Moreno, J. A., Pascual-Morenilla, M. T., Guirao-Piñeyro, M., Arrebola-Nacle, F., Morente-Chiquero, J. A., . . . Lopez-Soler, M. (2005). Effects of Low-Frequency Magnetic Fields on Different Parameters of Embryo of Gallus Domesticus. *Electromagnetic Biology and Medicine, 24*(1), 55-62. doi:10.1081/jbc-200055063

Roda, O., Garzón, I., Carriel, V., Alaminos, M., & Sánche-Montesinos, I. (2011). Biological effects of low-frequency pulsed magnetic fields on the embryonic central nervous system development. A histological and histochemical study.

Rodriguez, M., Petitclerc, D., Burchard, J., Nguyen, D., Block, E., & Downey, B. (2003). Response of estrous ccyle in dairy cows exposed to electric and magnetic fields (60 Hz) during 8-h photoperiods. *Animal Reproduction Science, 77*(1-2), 11-20.

Rodriguez, M., Petitclerc, D., Burchard, J. F., Nguyen, D. H., & Block, E. (2004). Blood melatonin and prolactin concentrations in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields during 8 h photoperiods. *Bioelectromagnetics, 25*(7), 508-515. doi:10.1002/bem.20024

Rossel, V. R. A., Adamchuk, V. I., Sudduth, K. A., McKenzie, N. J., & Lobsey, C. (2011). Proximal Soil Sensing. An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time. *Advances in Agronomy, 113*. doi:*https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386473-4.00010-5*

Rossi, B., Marquart, S., & Rossi, G. (2017). Comparative life cycle cost assessment of painted and hot-dip galvanized bridges. *J Environ Manage, 197*, 41-49. doi:10.1016/j.jenvman.2017.03.022

Rundveeloket. (2020). Zwerfstromen in de rundveestal. *Website, geraadpleegd 14 juni 2020*. doi:*https://www.rundveeloket.be/vraag_antwoord/zwerfstromen*

Russell, K. N., Russell, G. J., Kaplan, K. L., Mian, S., & Kornbluth, S. (2018). Increasing the conservation value of powerline corridors for wild bees through vegetation management: an experimental approach. *Biodiversity and Conservation, 27*(10), 2541-2565. doi:10.1007/s10531-018-1552-8

Šálek, M., Václav, R., & Sedláček, F. (2020). Uncropped habitats under power pylons are overlooked refuges for small mammals in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 290*. doi:10.1016/j.agee.2019.106777

Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: A review. *Soil and Tillage Research, 83(2)*, 173–193. doi:*https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004*

Scheele, H., & van Gurp, H. (2007). Eindrapportage FAB 2005-2007 : functionele Agro Biodiversiteit (FAB).

Schjonning, P., & Lamandé, M. (2020). An introduction to Terranimo®.

Schjønning, P., Lamandé, M., Berisso, F. E., Simojoki, A., Alakukku, L., & Andreasen, R. R. (2013). Gas Diffusion, Non-Darcy Air Permeability, and Computed Tomography Images of a Clay Subsoil Affected by Compaction. *Soil Science Society of America Journal, 77*(6), 1977-1990. doi:10.2136/sssaj2013.06.0224

Schjønning, P., van den Akker, J. J. H., Keller, T., Greve, M. H., Lamandé, M., Simojoki, A., . . . Breuning-Madsen, H. (2015). Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction—A European Perspective. In (pp. 183-237).

Sechman, A., Niedziólka, J., Lis, M., & Rzasa, J. (2006). Changes in thyroid hormone levels in chicken embryos exposed to extremely low frequency electromagnetic field.

Shepherd, S., Hollands, G., Godley, V. C., Sharkh, S. M., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2019). Increased aggression and reduced aversive learning in honey bees exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. *PLoS One, 14*(10), e0223614. doi:10.1371/journal.pone.0223614

Shepherd, S., Lima, M. A. P., Oliveira, E. E., Sharkh, S. M., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2018). Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields impair the Cognitive and Motor Abilities of Honey Bees. *Sci Rep, 8*(1), 7932. doi:10.1038/s41598-018-26185-y

Silva, J. M. (2002). Evaluation of the potential for power line noise to degrade real time differential GPS messages broadcast at 283.5-325 kHz. *IEEE Transactions on Power Delivery, 17(2)*, 326–333. doi:*https://doi.org/10.1109/61.997892*

Silva, J. M., & Olsen, R. G. (2002). Use of global positioning system (GPS) receivers under power-line conductors. *IEEE Transactions on Power Delivery, 17(4)*, 938–944. doi:*https://doi.org/10.1109/TPWRD.2002.803791*

Smolders, E., Oorts, K., Van Sprang, P., Schoeters, I., Janssen, C. R., McGrath, S. P., & McLaughlin, M. J. (2009). Toxicity of trace metals in soil as affected by soil type and aging after contamination: Using calibrated bioavailability models to set ecological soil standards. *Environmental Toxicology and Chemistry, 28*(8), 1633-1642.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333-339. doi:10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Soja, G., Kunsch, B., Gerzabek, M., Reichenauer, T., Soja, A. M., Rippar, G., & Bolhar-Nordenkampf, H. R. (2003). Growth and yield of winter wheat (Triticum aestivum L.) and corn (Zea mays L.) near a high voltage transmission line. *Bioelectromagnetics, 24*(2), 91-102. doi:10.1002/bem.10069

Spasic, S., Kesic, S., Stojadinovic, G., Petkovic, B., & Todorovic, D. (2015). Effects of the static and ELF magnetic fields on the neuronal population activity in Morimus funereus (Coleoptera, Cerambycidae) antennal lobe revealed by wavelet analysis. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, 181*, 27-35. doi:10.1016/j.cbpa.2014.11.018

Stelletta, C., De Nardo, P., F., S., Basso, G., Michielotto, B., Piccione, G., & Morgante, M. (2007). Effects of exposure to extremely low frequency electro-magnetic fields on circadian rhythms and distribution of some leukocyte differentation antigens in dairy cows. *Biomedical and Environmental Sciences, 20*(2), 164-170.

Stevin. (z.d.-a). 4. Nieuwe ondergrondse 380-kV-verbinding Van Maerlant (Vivenkapelle) – Gezelle (De Spie). *Website, geraadpleegd 05 augustus 2020*. doi:*https://www.stevin.be/werven/werven-op-een-rij/deelproject-4/*

Stevin. (z.d.-b). Kabelwerken ondergronds in 5 fasen. *Geraadpleegd 20 april 2020*. doi:*https://www.stevin.be/werven/werven-op-een-rij/kabelwerken-ondergronds-in-5-fasen/*

Tekeste, M. Z., Hanna, H. M., Neideigh, E. R., & Guillemette, A. (2019). Pipeline right-of-way construction activities impact on deep soil compaction. *Soil Use and Management, 35*(2), 293-302. doi:10.1111/sum.12489

Thevathasan, N. V., & Gordon, A. M. (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems, 61*, 257-268.

Thompson, J. M., Stormshak, F., Lee, J. M., Jr., Hess, D. L., & Painter, L. (1995). Cortisol secretion and growth in ewe lambs chronically exposed to electric and magnetic fields of a 60-Hertz 500-kilovolt AC transmission line. *J Anim Sci, 73*(11), 3274-3280. doi:10.2527/1995.73113274x

Tim Chamen, W. C., Moxey, A. P., Towers, W., Balana, B., & Hallett, P. D. (2015). Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research, 146*, 10-25. doi:10.1016/j.still.2014.09.011

Truby, P. (2018). Effecten van de warmte-emissie van ondergrondse hoogspanningskabels op de bodem en op landbouwgewassen.

Tschumi, M. (2015). Flowering habitats to enhance biodiversity and pest control services in agricultural landscapes

USDA. (1999). Soil Quality Test Kit Guide.

Uteau, D., Pagenkemper, S. K., Peth, S., & Horn, R. (2013). Root and time dependent soil structure formation and its influence on gas transport in the subsoil. *Soil and Tillage Research, 132*, 69-76. doi:10.1016/j.still.2013.05.001

Van De Vreken, P., Van Holm, L., Diels, J., & Van Orshoven, J. (2009). Bodemverdichting in Vlaanderen en afbakening van risicogebieden voor bodemverdichting.

van der Vliet, P. (1981). Beregenen nabij bovengrondse hoogspanningslijnen. *Landbouwmechanisatie, 32*(5).

Van Meirvenne, M., & Van De Vijver, E. (2018). Precision agriculture – proximal sensing. *Research Unit Soil Spatial Inventory Techniques Department of Environment Faculty of Bioscience Engineering*.

van Reeuwijk, P., van der Voort, M. P. J., & de Wolf, P. L. (2011). Akkerbouw onder hoogspanning: Rapport over landbouwkundige gevolgen van 380 kV hoogspanning Noord-Holland.

van Rijn, P., Willemse, J., & van Alebeek, F. (2011). FAB en akkerranden voor natuurlijke plaagbeheersing.

Vanbergen, A. J., Potts, S. G., Vian, A., Malkemper, E. P., Young, J., & Tscheulin, T. (2019). Risk to pollinators from anthropogenic electro-magnetic radiation (EMR): Evidence and knowledge gaps. *Sci Total Environ, 695*, 133833. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133833

Ventilus. (z.d.). faq. *Website, geraadpleegd 20 april 2020*. doi:*www.ventilus.be/p/faq*

Vilt. (z.d.). Functionele agrobiodiversiteit: Nuttige insecten in bloemrijke akkerlanden. *Website, geraadpleegd 23 april 2020*. doi:*www.vilt.be/Functionele_agrobiodiversiteit_Nuttige_insecten_in_bloemenrijke_akkerranden*

Vlaamse overheid. (2019). Gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan 'Ventilus'.

Vlaamse Overheid. (z.d.). NTRIP. *overheid.vlaanderen.be*. doi:Geraadpleegd 26 februari 2020, van *https://overheid.vlaanderen.be/flepos-ntrip*

Wan, G., Liu, R., Li, C., He, J., Pan, W., Sword, G. A., . . . Chen, F. (2020). Change in geomagnetic field intensity alters migration-associated traits in a migratory insect. *Biol Lett, 16*(4), 20190940. doi:10.1098/rsbl.2019.0940

Wojcik, V. A., & Buchmann, S. (2012). Pollinator conservation and management on electrical transmission and roadside rights-of-way: a review. *Journal of Pollination Ecology, 7*(3), 16-26.

Woolley, T. (2014). Galvanizing and sustainable construction: A specifiers' guide

Wyszkowska, J., Shepherd, S., Sharkh, S., Jackson, C. W., & Newland, P. L. (2016). Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts. *Sci Rep, 6*, 36413. doi:10.1038/srep36413

Zaidi, S., Khatoon, S., Imran, M., & Zohair, S. (2013). Effects of electromagnetic fields (created by high tensin lines) on some species of family Mimosaceae, Molluginaceae, Nyctaginaceae and Papilionaceae from Pakistan-V. *Pak. J. Bot., 45*(6), 1857-1864.

Zhang, P., Li, D., Zhao, J., & Cheng, J. (2020). Multipath Mitigation in GNSS Positioning by the Dual-Path Compression Estimation. *IEEE Sensors Journal, 20(6)*, 3087–3100. doi:*https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2956088*

Zhang, W., Ning, Y., & Suo, C. (2019). A method based on multi-sensor data fusion for UAV safety distance diagnosis. *Electronics (Switzerland), 8(12)*. doi:*https://doi.org/10.3390/electronics8121467*

Zhang, Z. Y., Zhang, J., Yang, C. J., Lian, H. Y., Yu, H., Huang, X. M., & Cai, P. (2016). Coupling Mechanism of Electromagnetic Field and Thermal Stress on Drosophila melanogaster. *PLoS One, 11*(9), e0162675. doi:10.1371/journal.pone.0162675

Zhou, K. (2015). Simulation Modelling for In-field Planning of Sequential Machinery Operations in Cropping Systems.

Bijlage 1. Bijkomende gegevens proefopzet

Nummer	1ste auteur	Jaar	Dier	Ras	Soort studie	AC/DC	MV (µT)	kV	Frequentie (Hz)	EV (kV/m)
1	Algers B	1987	Rundvee	Zweeds rood/wit	In vivo	AC	2	400	50	4
2	Algers B	1985	Rundvee	Melkvee	Veldstudie	AC	-	400	-	0,75 - 1,8 (max 4)
3	Angell R	1990	Rundvee	Vleesvee (kruising Hereford x Angus x Charolais)	In vivo	-	-	500	-	5,6
4	Begall S	2008	Rundvee		Veldstudie	-	-	-	-	-
5	Begall S	2011	Rundvee		Veldstudie	-	-	-	-	-
6	Begall S	2013	Zoogdieren	-	-	-		-	-	-
7	Berman E	1990	Pluimvee	Gedomesticeerde kip	In vivo, The Henhouse Project	-	1	-	-	-
8	Bernabo N	2010	Varken		In vitro	-	500-2000	-	50	-
9	Broucek J	2002	Rundvee	Holstein kalveren	In vivo	-	-	-	-	-
10	Broucek J	2003	Rundvee	Holstein	In vivo	-	21,9-42,1		-	-
11	Burchard J	1996	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10

Nummer	Aantal	Doel	Lengte proef	Blootstelling	Behandelingen
1	2x58	Effect op oestrus cyclus en vruchtbaarheid bij drachtige vaarzen	120d	400 kV HS/50 Hz/2 µT/4 kV/m, verblijf onder HS	CON 2 µT
2	Veldstudie in Zweden, 972 boerderijen	Vruchtbaarheid	-	400 kV HS-	Grazende koeien
3	205 koe-kalf paren	Algemeen effect	30 maand	verblijf onder HS, CON verder weg	CON Onder 500 kV HS
4	8510	Kunnen koeien geomagnetische velden waarnemen?	-	-	-
5	4144	Kunnen koeien geomagnetische velden waarnemen?	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	2x10 eieren (10x studie op 6 locaties)	Bevrucht, morfologie, ontwikkeling en ontwikkeling stadium	48h incubatie	puls (500 µs, 100 puls/s, 1µT piek)	CON (sham exposed) Puls MV 1 µT
8		effect op berensperma	-	1h, 0-2 mT, 50 Hz	-
9	24	Effect op renale ontwikkeling	Drachtige moeders, D196-D258	21,9 - 42,1 µT	-
10	25	Effect op dracht melkkoeien en hun kalveren	dag 196-258 van de dracht	-	CON 21,9 (breech) - 42,1 (hoofd) µT
11	8 8	Productiviteit	3x28d	2 herhalingen: aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz

Nummer	Resultaat	Opmerkingen
1	Geen effect werd waargenomen op oestrus cyclus, progesteron level, intensiteit oestrus, aantal KI	-
2	Geen effecten werd waargenomen op KI	-
3	Productiviteit en gezondheid koeien en kalveren gelijk, ook andere parameters bekeken (conceptie, dracht, kalving, ADG) geen effect	-
4	Ja	-
5	Ja	-
6	-	-
7	Significant resultaat in 2 laboratoria op structurele afwijkingen ($p<0,03$ en $p<0,001$), andere laboratoria numerieke verschillen. Alle resultaten gepoold ook significant ($p>0,001$) meer afwijkingen bij blootstelling	-
8	> 500 µT negatief effect op spermatozoa en verdere ontwikkeling embryo	-
9	Geen negatieve impact op de kalveren (gedrag)	Laatste periode in de dracht lijkt niet de kritische periode voor embryonale ontwikkeling
10	Significant lagere melkproductie bij blootstelling ($p<0,05$), geen effect op kalveren	-
11	Verhoogde voeropname, FCM, melkvet en plasma progesteron door blootstelling. Andere parameters geen invloed	-

Nummer	1ste auteur	Jaar	Dier	Ras	Soort studie	AC/DC	MV (µT)	kV	Frequentie (Hz)	EV (kV/m)
12	Burchard J	1998	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	-	10
13	Burchard J	1998	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10
14	Burchard J	1998	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10
15	Burchard J	1999	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10
16	Burchard J	2003	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10
17	Burchard J	2006	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	60	10
18	Burda H	2009	Rundvee		Veldstudie	-	-	-	-	-
19	Cox CF	1993	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	10	-	50	-
20	Douglas RH	2014			In vivo	-	-	-	-	-

Nummer	Aantal	Doel	Lengte proef	Blootstelling	Behandelingen
12	8 8	Melatonine concentratie 's nachts	3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz
13	88	Progesteron tijdens oestrus cyclus	3x28d (aantal dagen varieert volgens oestrus cyclus, 21-27 d)	aan - uit - aanuit - aan - uit	CON30 µT, 60 Hz
14	8 8		3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz
15	8 8		3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz
16	8 8	Effect op melkproductie en voeropname	3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz
17	8 8	Effect op thyroxine (T4) concentratie in bloedplasma	3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 µT, 60 Hz
18	1699	Effect van hoogspanningslijnen op geomagnetische gevoeligheid	-	-	-
19	8 experimenten met 2x200 eieren	Na 120h incubatie: ontwikkeling, bloedtoevoer, hart functie	120h	Eerste 52h incubatie, 50 Hz, 10 µT	CON 10 µT (50 Hz)
20	-	-	Incubatieperiode	-	-

Nummer	Resultaat	Opmerkingen
12	Melatonine gehaltes 's nachts toonden geen verschil bij blootstelling	-
13	Geen effect plasma progesteron, oestrus lengte langer bij blootstelling (22d vs 25,3d)	-
14		-
15		-
16	Melkproductie lager met 4,91%, FCM met13,78 % en melk vet met 16,39 % bij blootstelling. DMI verhoogd met 4,75 % bij blootstelling	-
17	Verhoging T4 in bloedplasma (3,8%), dit effect was enkel zichtbaar in 1 van de 2 experimenten en van d2-d10	-
18	Lichaamsoriëntatie was random bij dieren die zich dichtbij hoogspanningslijnen bevonden	-
19	Aantal abnormaliteiten gelijk	-
20		-

Nummer	1ste auteur	Jaar	Dier	Ras	Soort studie	AC/DC	MV (μT)	kV	Frequentie (Hz)	EV (kV/m)
21	Farrell JM	1997	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	1	-	60	-
	Farrell JM	1997	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	-	-	-	-
	Farrell JM	1997	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	-	-	-	-
	Farrell JM	1997	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	-	-	-	-
	Farrell JM	1997	Pluimvee	White leghorn	In vivo	-	-	-	-	-
22	Hefeneider SH	2001	Schaap	Suffolk ooilam-meren	In vivo	-	-	500	60	-
23	Hert J	2011	Rundvee		Veldstudie	-	-	-	-	-
24	Juutilainen	1987	Pluimvee	Embryo	In vivo	-	0,1 - 10	-	50	-
25	Laszlo AM	2018	Pluimvee	Kalkoenen	In vivo	-	10	-	0-300	-

Nummer	Aantal	Doel	Lengte proef	Blootstelling	Behandelingen
21	2x10 eieren	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 µT
	4x10 eieren	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 µT
	6x10 eieren	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 µT
	6x10 eieren	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 µT
	6x15 eieren	Morfologie embryo	48h	Sinusoïde MV, 48h	4 µT (60 Hz)
22	3x15	Effect op IL-1 en IL-2 (immuniteit)	27 maand	500 kV HS, verblijf onder HS, CON verderop	CON Onder HS Onder HS maar enkel MV
23	3412	Kunnen koeien geomagnetische velden waarnemen?	-	-	-
24	-	Ontwikkeling embryo	48h	Sinusoïde oscillatie 50 Hz MV	CON (sham-exposed) 0,1 µT 0,3 µT 1 µT 10 µT
25	40	Effect op B-adrenoceptor	8 weken	intermittent blootstelling: 20 min elke 8h gedurende 3 weken (10 µT, 50 Hz). Daarna 5 weken zonder bloostelling	-

Nummer	Resultaat	Opmerkingen
21	Malformatie bij blootstelling, vooral bij de zenuwbaan (p<0,001)	Goede proefopzet, gestandaardiseerd proces. Echter kwamen de eieren van verschillende bronnen waardoor significante verschillen tussen de labo's zijn wegens ongekende omgevings- en biologische factoren (Juut.)
	Malformatie bij blootstelling, vooral bij de zenuwbaan (p<0,001)	-
	Malformatie bij blootstelling, vooral bij de zenuwbaan (p<0,2)	-
	Malformatie bij blootstelling, vooral bij de zenuwbaan (p<0,001) Alle embryo's blootstelling vergeleken met alle CON: p<0,001 voor abnormaliteiten (15,3% tov 6,2%)	-
	-	-
22	Geen significant verschil tussen de groepen voor IL-1 en IL-2.	-
23	Nee	-
24	16% abnormaliteiten bij sham, 29% bij 1 μT en 32% bij 10 μT	-
25	Bij blootstelling, B-adrenoceptor activiteit verlaagd (p<0,001)	De CON groep bestond uit 4 dieren (neg, pos, sham en absolute controle). Waren de dieren minder actief omdat ze apart geplaatst werden? Of kwam het door EMV blootstelling? Tijdens de herstellingsperiode werden de dieren constant samen gehouden.

Nummer	1ste auteur	Jaar	Dier	Ras	Soort studie	AC/DC	MV (μT)	kV	Frequentie (Hz)	EV (kV/m)
26	Pawlak K		Pluimvee	Bevruchte eieren van vleeskippen (ISA 215)	In vivo	-	50 100	-	50	173 V/m 180 V/m
27	Raleigh R	1988	Rundvee	Vleesvee	In vivo	-	-	500	-	-
28	Roda O	2011	Pluimvee	Leghen, Leghorn HR7, bevruchte eieren		-	10	-	50 of 100	-
29	Rigalma K	2010	Melkvee	Holstein	In vivo	-	-	-	-	-
30	Roda-Murillo O	2005	Pluimvee	Leghen, Leghorn HR7	In vivo	AC	1, 500 of 1000	-	50	-
31	Rodriguez M	2003			In vivo	AC	30	~735	-	10
32	Rodriguez M	2004	Rundvee	Holstein	In vivo	AC	30	~735	-	10
33	Sechman A	2004	Pluimvee	eieren	In vivo	AC	10	-	50	7 V/160 mA
34	Stelleta C	2007	Rundvee		In vivo	-	1,98-3,28	380	-	-
35	Thompson JM	1995	Schaap	Suffolk ooilammeren	In vivo	-	4	500	60	6

Nummer	Aantal	Doel	Lengte proef	Blootstelling	Behandelingen
26	120	Effect op hartfunctie, thyroid hormoon en bloes aminotransferase	-	50 en 100 µT, 50 Hz, continu	CON Sham (switched off EMF generator) 50 µT 100 µT
27	106	Effect van 500 kV op vleesvee (volw + kalf)	3 jaar	plaatsen onder HS 500 kV (dc line), in verblijf onder HS, CON in verblijf verder weg van HS	
28		Effect op embryonale ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel	Incubatieperiode (~21d), meetpunt: 45h, 15d, 21d	Puls, 10 µT voor 1s met 0,5s ertussen, 50 Hz of 100 Hz Helmholtz coils in parallel en 70cm apart	CON 50 Hz 10 µT en 50 Hz CON 100 Hz 10 µT en 100 Hz
29	74	Effect op activiteit, stress parameters en melk productie	8w	random blootstelling of continu aan 1,8V via drinkwater	CON 1,8 V permanent 1,8 V random
30	4x80	Embryonale ontwikkeling op D15 en D21	-	Continu tijdens incubatie-	CON 1 µT 500 µT 1 mT
31	-	-	-	-	-
32	8 8	Effect op bloed melatonine en prolactine	3x28d	aan - uit - aan uit - aan - uit 16h/d	CON 60 Hz/30 µT
33	2x160	Effect op thyroid hormoon op kippen embryo	21d	10 µT, 50 Hz; continu	CON 10 µT
34	2x5	Effect op leukocyten	-	-	CON (0,2-0,7 µT) 1,98-3,28 µT
35	20	Cortisol en groei	8 maand	4 µT, 60 Hz, 55 kV, onder HS geplaatst	CON 4 µT / 60 Hz / 500 kV HS

Nummer	Resultaat	Opmerkingen
26	Vanaf 17d blootstelling verhoging hartslag (p<0,05) bij 50 en 100 μT, verhoging plasma T4 en T3 (p<0,01) bij 50 en 100 μT	-
27	Geen effect op voeropname, conceptie, kalven, geboorte kalf, kalf interval, dagelijkse groei, koe gewicht, etc.	-
28	Na 45h blootstelling minder segmenten (p<0,05) (50 en 100 Hz), na 15d hoger LG (50 Hz) (p<0,01), na 21d lager LG (p<0,01) bij 100 Hz en ontwikkelingsstadium (p<0,05) bij 50 en 100 Hz.	-
29	Continu (p<0,007) en random (p<0,022) blootstelling kan stress respons veroorzaken, voornamelijk zichtbaar in activiteit, maar geen effect op productie	-
30	LG lager alle behandelingen op beide metingen (d15: p<0,01; d21: p<0,05) bij blootstelling, op D21 was schedel ontwikkeling lager voor alle behandelingen 1 μT en 1 mT: p<0,01; 500 μT:p<0,001)	-
31	-	-
32	MLT tijdens donkere periode geen effect, tijdens lichte periode klein beetje lager bij blootstelling (niet significant), PRL licht was bij blootstelling (P<,02)	-
33	Verhoging T3 (p<0,01) en T4 (p<0,01) op het einde bij blootstelling, lagere embryonale sterfte (p<0,05) en hoger uitkippen (p<0,01) bij blootstelling	-
34	CD8 hoger bij blootstelling en CD4/CD8 ratio verschilde tussen de 2 groepen	-
35	Cortisol niet anders bij blotstelling, geen effect op groei en wol productie	-

Rapport

Effets potentiellement générés par l'exploitation d'une ligne électrique aérienne à haute tension sur les exploitations agricoles situées à proximité

Commanditaires : ELIA-FWA

Auteurs : Véronique Beauvois, Yves Beckers, Frédéric Rollin
ULiège

Date : 13/07/2020

Ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de ses auteurs de l'Université de Liège.

Table des Matières

1. Introduction 4
2. Contexte 5
3. Rappels sur les champs électriques et magnétiques 6

Quelques rappels de principes physiques 6

Les phénomènes de couplage électrique et magnétique 10

Couplage magnétique (ou inductif) 10

Couplage électrique (ou capacitif) 10

4. Méthodologie 11
5. Synthèse bibliographique complète 12

5.a Santé humaine - Effets potentiels des champs magnétiques EBF sur les personnes 12

5.a.1 Effets avérés 12

5.a.2 Effets potentiels 13

5.a.3 Types d'études sur les effets biologiques 13

5.a.4 Recommandations et réglementations pour les expositions à basses fréquences 14

5.a.4.1 Niveau international 14

5.a.4.2 Niveau fédéral belge 15

5.a.4.3 Niveau régional belge 16

5.a.4.3.a En Région flamande 16

5.a.4.3.b En Région de Bruxelles-Capitale 16

5.a.4.3.c En Région wallonne 16

5.a.5 Revue de la littérature scientifique 17

5.a.5.1 Position de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) 17

5.a.5.2 Études européennes 18

5.a.5.3 Avis de l'ANSES (France) 18

5.a.5.4 Études spécifiques sur la leucémie infantile 19

5.b Effets directs des champs magnétiques et électriques générés par les lignes électriques aériennes à haute tension sur les animaux et les végétaux 21

5.b.1Préliminaire 21

5.b.2 Intensité des champs électriques et magnétiques à proximité des liaisons électriques aériennes à haute et très haute tension et dans les exploitations agricoles 22

5.b.3 Effets des CE et CM EBF sur les animaux 23

5.b.3.1 Effets biologiques sur les animaux modèles et de rente 23

5.b.3.1.a Stress oxydatif 24

5.b.3.1.b Les cryptochromes 25

5.b.3.1.c Synthèse de mélatonine 25

5.b.3.1.d Le stress physiologique 26

5.b.4 Effets sur les performances zootechniques et impact sanitaire des animaux 27

5.b.5 Effets biologiques des champs EBF chez les plantes 28
5.b.6 Conclusions pour les effets directs chez les animaux et les plantes 29
5.c Santé, stress, bien-être et performances des animaux de production 31
5.c.1 Préambule 31
5.c.2 Impact sur le bien-être, la santé et les performances des animaux de production 32
5.c.3 Conclusion 35
5.d Courants parasites en élevage 36
5.e Perturbations technologiques 37
6. Réponses aux questions initiales 39
Préambule 39
Question 1 39
Analyse 39
Réponses 39
Question 2 40
Analyse pour les effets directs 40
Réponse pour les effets directs 41
Recommandation pour les effets directs 41
Question 3 43
Analyse des effets directs 43
Réponse des effets directs 43
Recommandation pour les effets directs 44
Question 4 46
Analyse pour les effets directs 46
Réponse pour les effets directs 46
Recommandation pour les effets directs 46
Question 5 47
Analyse 47
Réponse 47
7. Références et bibliographie 48
7.1 Références et bibliographie – Partie 5.a 48
7.2 Références et bibliographie – Partie 5.b 48
7.3 Références et bibliographie – Partie 5.c 50
Sites internet 51
Glossaire 51

1. Introduction

A la demande de la Fédération Wallonne de l'Agriculture (FWA) et d'Elia (Gestionnaire du Réseau de Transport d'électricité en Belgique), le présent rapport est une synthèse bibliographique des données disponibles dans la littérature scientifique examinée.

Cette synthèse porte sur les effets potentiellement générés par l'exploitation d'une ligne électrique aérienne à haute tension (courant alternatif, tension de 380 kV, capacité nominale de 6 GW) sur les exploitations agricoles situées à proximité.

Concrètement, l'analyse a pour objectif de répondre, aussi clairement que possible, aux questions suivantes :

1. L'exploitation d'une ligne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur :
    - la santé de l'agriculteur et/ou éleveur ?
    - la santé animale, le stress et le bien-être animal ?
    - les performances zootechniques ?
    - la quantité et la qualité des productions animales et végétales ?
    - l'utilisation d'équipements électroniques présents dans les exploitations (GPS, drones, tracteurs, robots de traite, abreuvoirs, etc.) ?

2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?

3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?

4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

2. Contexte

Les champs électriques et magnétiques sont omniprésents dans notre environnement quotidien. La radio, la télévision, les appareils électroménagers, les appareils médicaux, les téléphones mobiles, les communications sans fil, l'internet des objets, …, font partie de notre vie.

Une préoccupation récurrente de la population porte sur les installations électriques, et en particulier les liaisons aériennes, communément appelées lignes à haute tension (LHT), qui produisent des champs électriques et magnétiques à 50 Hz. Ce sont ces champs qu'on appelle des champs de fréquence extrêmement basse (Extrêmement Basse Fréquence – EBF ou Extremely Low Frequency - ELF).

Des recherches scientifiques sont menées depuis ces 40 dernières années sur ces sujets. Nombreuses d'entre elles ont analysé le lien potentiel entre les champs électriques et magnétiques EBF (ici 50 Hz) et la santé. Elles ne permettent pas de conclure à un lien de cause à effet entre les champs et la santé, excepté pour des effets court-terme à niveau de champ élevé, comme pour les magnétophosphènes (voir page 13).

Un nombre moins important d'études existent sur l'impact éventuel de ces champs sur les performances zootechniques des animaux d'élevages. Ces travaux n'ont que peu étudié les effets à long terme (*i.e.* le cycle de vie de l'animal au sein d'une ferme), de même que les effets des champs intermittents (*i.e.* présent et absent dans le temps) et variables (i.e. le CM est variable en fonction du taux d'exploitation de la ligne) sur les animaux.

Très peu d'études ont été menées sur l'impact éventuel de ces champs sur le rendement des productions végétales. Cette dernière constatation peut probablement s'expliquer par l'absence d'interrogation et d'observation sur le terrain.

3. Rappels sur les champs électriques et magnétiques

Quelques rappels de principes physiques

On peut d'abord se poser la question de savoir ce qu'est un **champ**. Cette notion est largement utilisée en physique : on parle de champ de pesanteur, de champ thermique, ... Un champ traduit simplement l'influence d'un objet sur son environnement : l'influence de la terre avec la force de pesanteur, l'influence d'une source de chaleur, …

En électricité, on utilise les notions de **champ électrique** et de **champ magnétique**.

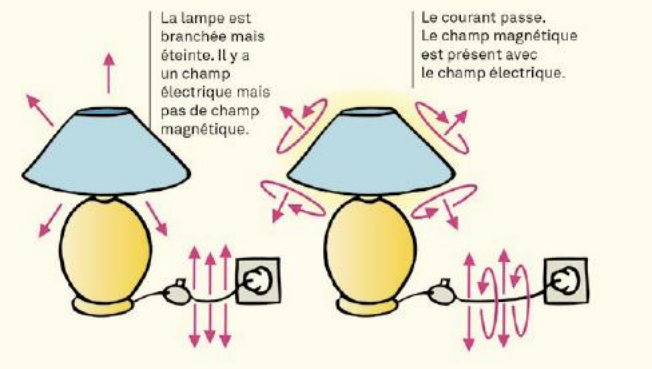
Les champs électriques et magnétiques sont présents dans la nature ; dans ce cas ils sont constants ou varient très lentement : on les appelle des **champs statiques**. On peut donner comme exemple le champ magnétique terrestre (il est de l'ordre de 40 µT dans nos régions et il en résulte des courants circulants dans le noyau terrestre) et le champ électrique naturel à la surface de la terre (généralement de l'ordre de 100 V/m, qui peut atteindre 10 kV/m, soit 100 fois plus, en cas d'orage).

Cependant la plupart des champs sont variables : on les appelle des **champs alternatifs**. Ils sont alors caractérisés par une fréquence (vitesse de leur variation, exprimée en Hertz (Hz)) et une intensité. C'est le cas des champs générés par une ligne à haute tension, dont la fréquence en Belgique est de 50 Hz, mais aussi des installations électriques domestiques et de tous les équipements qu'elles alimentent.

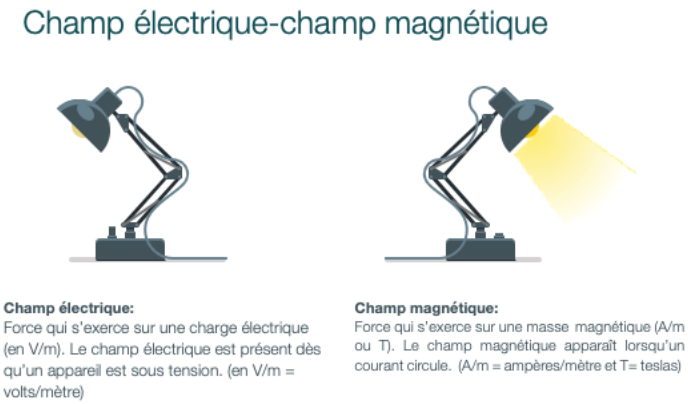
Le **champ électrique** traduit l'effet d'attraction ou de répulsion qui est exercé par une charge sur une autre charge (en fonction de leurs signes respectifs). On peut dire de façon simplifiée que le champ électrique est lié à la tension. La tension est exprimée en Volt (V) et le champ électrique en Volt par mètre (V/m) ou kilovolt par mètre (kV/m – soit mille fois plus qu'un V/m) ; plus la tension est grande, plus le champ électrique qui en résulte est grand. Un objet électrique sous tension génère toujours un champ électrique, même s'il n'est parcouru par aucun courant.

Le **champ magnétique** décrit la force exercée par une charge électrique en mouvement. Il se produit quand il y a déplacement de charge électrique, lorsque le courant circule. On peut dire de façon simplifiée que le champ magnétique est lié au courant. Le courant est exprimé en Ampère (A) et le champ magnétique en Ampère par mètre (A/m). Pourtant on entend plus souvent parler de Tesla (T) ou plutôt de microTesla (µT – soit un million de fois moins qu'un T) comme unité du champ d'induction magnétique ; celui-ci traduit l'effet du champ magnétique dans un milieu donné.

Dans la suite de ce rapport, par simplification, on parlera simplement de champ magnétique plutôt que de champ d'induction magnétique, ce qui ne génère pas d'erreur dans les milieux non magnétiques, comme l'air, que nous allons considérer ici dans le cas d'une liaison aérienne. Dans ce cas, il y a équivalence entre 1 µT et 0,8 A/m.



[GPSE]



[ELIA]

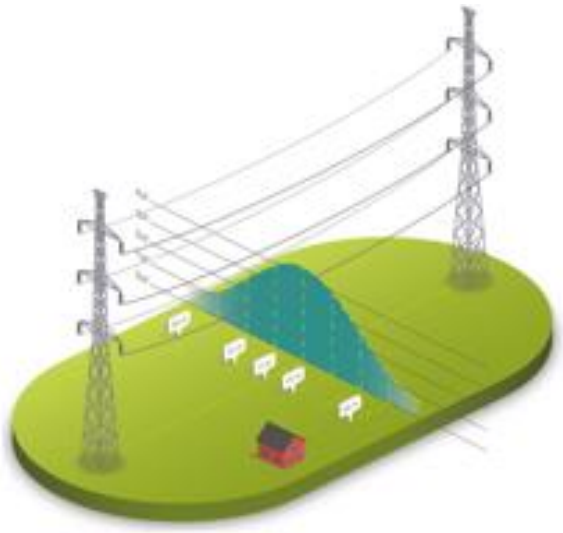
Si on se focalise maintenant sur une liaison aérienne, elle génère à la fois un champ électrique et un champ magnétique.

On peut considérer de façon simplifiée que le champ électrique maximum sous une liaison aérienne est proportionnel à la tension et inversement proportionnel à la distance entre le conducteur le plus proche du sol et le sol.

De même, le champ magnétique produit par une liaison aérienne est proportionnel à l'intensité du courant qui parcourt les conducteurs et dépend de la géométrie de la ligne (nombre de ternes[1], disposition des conducteurs, distance mutuelle des conducteurs, …).

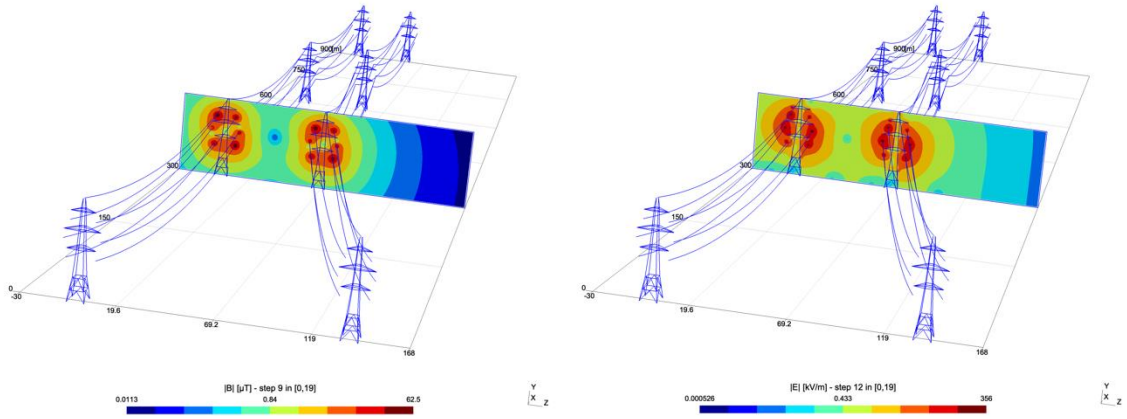
L'intensité des champs électrique et magnétique est maximale à proximité de leur source et décroît rapidement avec l'éloignement au droit de la ligne.

[1] Terne : circuit triphasé.

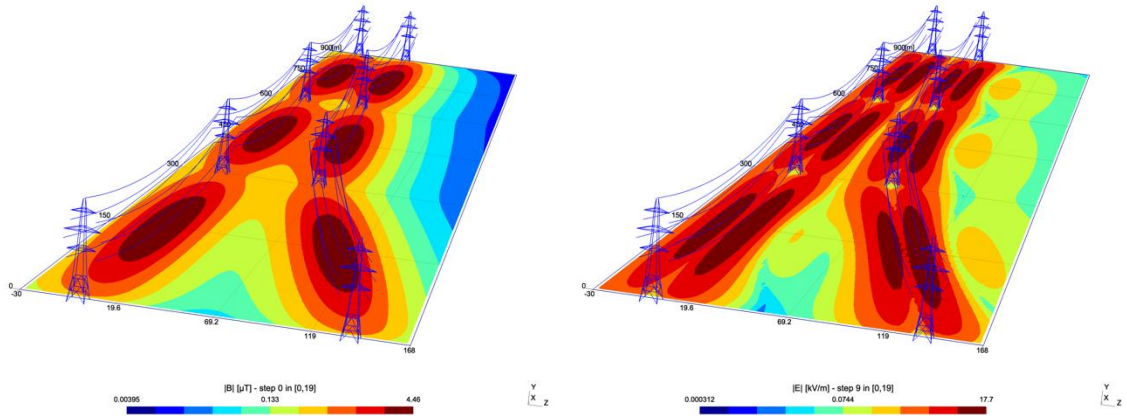


La courbe en cloche montre la répartition du champ magnétique perpendiculairement à la ligne et sa décroissance quand on s'éloigne du droit de la ligne [ELIA]

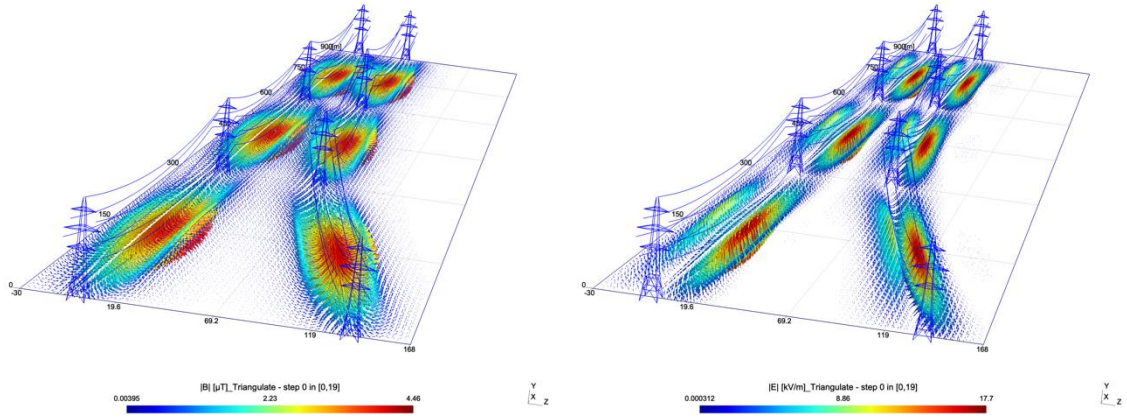
Des illustrations ont été réalisées par ACE-ULiège (Professeur C. Geuzaine) avec son code open-source ONELAB pour Open Numerical Engineering LABoratory (http://onelab.info).



Champ magnétique et champ électrique scalaires selon un axe.



Champ magnétique et champ électrique scalaires.



Champ magnétique et champ électrique vectoriels.

Le réseau électrique à haute tension belge est constitué de liaisons aériennes et souterraines dont les tensions s'élèvent à 380 kV (au maximum), 220 kV, 150 kV, 70 kV, 36 kV et 30 kV.
Une ligne de ce type comporte au minimum 3 conducteurs de phase (un terne), et la plupart du temps un conducteur de garde qui surplombe le terne pour protéger la ligne de la foudre.
Ce rapport s'attache aux liaisons aériennes de 380 kV.
Il est intéressant de comparer la valeur du champ électrique et du champ magnétique pour des équipements domestiques et d'élevage et des liaisons électriques aériennes.

Exemples de champs électriques et magnétiques à 50 Hz[2]

...pour des équipements domestiques et d'élevage		**...pour des lignes électriques aériennes**	
Champs électriques (en V/m)	**Champs magnétiques (en µT)**	**Champs électriques (en V/m)[f]**	**Champs magnétiques (en µT)[f]**
Chaîne stéréo[a]: 180	Rasoir[b]: 15 à 1500	**Ligne à 400 000 volts** sous la ligne : 5000 à 30 mètres de l'axe : 2000 à 100 m de l'axe : 200	**Ligne à 400 000 volts** sous la ligne : 25 à 30 mètres de l'axe : 10 à 100 m de l'axe : 0,6
Sèche-cheveux[a]: 80	Sèche-cheveux[b]: 18	**Ligne à 225 000 volts** sous la ligne : 2000 à 30 mètres de l'axe : 500 à 100 m de l'axe : 50	**Ligne à 225 000 volts** sous la ligne : 12 à 30 mètres de l'axe : 2 à 100 m de l'axe : 0,2
Grille-pain[a]: 80	Refroidisseur du tank à lait[c]: 0,1 à 2,2	**Ligne à 90 000 volts** sous la ligne : 1000 à 30 mètres de l'axe : 100 à 100 m de l'axe : 10	**Ligne à 90 000 volts** sous la ligne : 9 à 30 mètres de l'axe : 1 à 100 m de l'axe : 0,1
Tank à lait[d]: 10	Trayeuse (pompe à vide)[c]: 0,3 à 2,3	**Ligne à 20 000 volts** sous la ligne : 250 à 30 mètres de l'axe : 10 à 100 m de l'axe : négligeable	**Ligne à 20 000 volts** sous la ligne : 6 à 30 mètres de l'axe : 0,2 à 100 m de l'axe : négligeable
Télévision à écran plat[a]: 1	Grille-pain[d]: 0,4	**Ligne à basse tension** sous la ligne : 1,2 à 30 mètres de l'axe : négligeable à 100 m de l'axe : négligeable	**Ligne à basse tension** sous la ligne : 1,3 à 30 m de l'axe : négligeable à 100 m de l'axe : négligeable
Ordinateur à écran plat : négligeable	DAC[c]: 0,3 à 0,4	Le champ électrique produit par les lignes aériennes est nul à l'intérieur des bâtiments.	
Rasoir[d]: négligeable	Ordinateur à écran plat[b]: 0,20		
Trayeuse[d]: négligeable	Chaîne stéréo[b]: 0,20		
DAL[d]: négligeable	Télévision à écran plat[b/e]: négligeable		

Sources : [a] Office fédéral pour la protection contre les rayonnements, Allemagne, 1999, cité par OMS
[b] Belgian BioElectroMagnetics Group, s.d.
[c] Anses, 2015 (p. 37-38)
[d] Ministère de l'Agriculture et al, 2003
[e] Anses 2017, p. 9
[f] Ineris, s. d. et RTE, 2018. Il s'agit de valeurs maximales. Pour tous les équipements, les valeurs sont mesurées à 30 cm, sauf pour les appareils qui impliquent une utilisation rapprochée.

[GPSE]

[2] Ce sont des ordres de grandeur, en valeurs maximales de champs électriques et magnétiques. Cette comparaison ne tient pas compte des durées d'exposition, qui peuvent impacter les valeurs moyennes.

Les phénomènes de couplage électrique et magnétique

L'induction de tensions ou de courants dans des objets métalliques proches des liaisons électriques constitue un des principaux effets des champs alternatifs. Ce phénomène, appelé couplage, est à l'origine de courants parasites, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.
On parle de couplage magnétique ou inductif pour le champ magnétique et de couplage électrique ou capacitif pour le champ électrique.

Couplage magnétique (ou inductif)

Le champ magnétique généré par une ligne électrique induit des tensions sur des éléments métalliques proches. Celles-ci sont tout à fait négligeables sur des éléments qui ne dépassent pas quelques dizaines de mètres de long. Elles deviennent importantes, cependant, lorsqu'il y a parallélisme et proximité **sur plusieurs centaines de mètres**. C'est le cas, par exemple, pour les canalisations métalliques (par exemple eau, gaz …), les circuits de télécommunication sur support métallique, les charpentes métalliques de bâtiment, les barrières métalliques, ... Cette problématique est bien connue et les sollicitations peuvent être calculées avec une bonne précision.

Couplage électrique (ou capacitif)

Au même titre que le courant dans une ligne peut induire des tensions par couplage magnétique dans une structure métallique adjacente, la tension de la ligne peut influencer par couplage électrique des objets conducteurs situés dans son voisinage.

Ce phénomène présente en règle générale moins d'inconvénients ou de risques que le couplage magnétique mais il est plus facilement perceptible même sur des objets de petites dimensions. Il peut aussi être perçu par l'homme ou l'animal, principalement par le léger mouvement des cheveux ou des poils qu'il provoque.

La mise à la terre de l'objet subissant l'influence capacitive suffit à supprimer tout effet.

Dans le cas d'une liaison électrique souterraine, le champ électrique est confiné à l'intérieur des câbles et il n'y a pas de couplage capacitif. Seules les liaisons aériennes peuvent être à l'origine de couplages électriques.

4. Méthodologie

Cette étude a été menée par 3 membres de l'Université de Liège :

- Véronique Beauvois, Ingénieur, Maître de conférence, Applied and Computational Electromagnetics (ACE) ;
- Yves Beckers, Professeur ordinaire, Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), Precision Livestock and Nutrition;
- Frédéric Rollin, Professeur, Faculté de Médecine Vétérinaire, FARAH, Productions animales durables (Bovins, Alimentation et Maladies respiratoires).

La méthodologie de recherche utilisée est une étude bibliographique qui se base à la fois sur la littérature scientifique et non scientifique (*i.e.* littérature grise) collectée par les auteurs de cette étude. Elle se focalise sur les effets des champs électriques et magnétiques sur les hommes, les équipements, les animaux et les végétaux à proximité des lignes à haute tension. Elle propose aussi une synthèse sur les mécanismes d'action des champs au niveau animal et végétal.

La littérature scientifique a été collectée dans la base de données SCOPUS© (Elsevier). La littérature non scientifique a été obtenue à l'aide de moteurs de recherche généraliste sondant les documents disponibles sur le WEB, elle intègre aussi les rapports de synthèse sur le sujet réalisés par des organismes à finalités scientifiques.

Dans les 2 cas, les recherches bibliographiques ont été principalement réalisées par l'utilisation de mots clés pertinents pour le sujet.

Enfin, l'étude bibliographique s'est basée sur des rapports d'expertise collective dont ceux de l'OMS, l'EFHRAN, l'ANSES et du SCENHIR (voir Glossaire en fin de rapport).

5. Synthèse bibliographique complète

La méthodologie de recherche appliquée à la littérature scientifique disponible a permis de récolter de nombreux éléments dont une synthèse est réalisée et référencée ci-dessous.

5.a Santé humaine - Effets potentiels des champs magnétiques EBF sur les personnes

Avant d'aborder en détail ce sujet, nous voudrions rappeler qu'il ne faut pas confondre effets biologiques et risque pour la santé.

Les **effets biologiques** sont des modifications mesurables en réponse à un stimulus (par exemple : l'exposition aux champs électromagnétiques EBF ou l'exposition à la lumière du soleil). Les effets biologiques ne sont pas nécessairement néfastes pour la santé. Le corps humain dispose de mécanismes de compensation et de régulation à l'égard de nombreux stimuli.
Il existe un **risque pour la santé** lorsque l'effet biologique dépasse les possibilités de compensation normale de l'organisme et entraîne une altération de l'état de santé.

On sait que si on est exposé à des niveaux élevés de champs, des effets biologiques se produisent, ce sont les **effets avérés**. Par contre, à des niveaux plus faibles, les résultats des études scientifiques sont contradictoires et controversés, il s'agit des **effets potentiels**.

5.a.1 Effets avérés

La plupart des tissus constituant le corps humain sont bons conducteurs de courant électrique.

Par ailleurs, tout élément conducteur placé dans un champ magnétique variable est le siège de tensions induites. Le corps humain n'échappe pas à cette règle. Selon la résistivité de chaque tissu soumis à ces tensions, il en résulte également des courants électriques induits. De tels courants induits peuvent aussi être provoqués par un champ électrique.

Sachant que les tissus les plus sensibles sont les tissus nerveux qui peuvent être microscopiques (terminaisons nerveuses...), on s'intéresse plus particulièrement à la densité de tension induite qui s'exprime en V/m, c'est-à-dire au **champ électrique interne** (par opposition au champ électrique ou magnétique externe).

Lors d'une exposition à des champs électriques et/ou magnétiques 50 Hz **d'intensité très élevée**, des effets directs peuvent apparaître (voir ci-dessous). Ces effets ont été étudiés sur des volontaires humains et chez l'animal. Les normes et recommandations nous protègent de ces effets avérés directs. Les effets directs dépendent de l'intensité du champ électrique induit dans chacun des tissus qui composent notre corps.

La question à se poser est donc : quelle est la valeur du champ électrique interne maximal et, partant, le niveau maximum de champ magnétique (ou électrique) externe correspondant qui n'occasionnera aucun effet biologique néfaste pour la santé ?

Les recherches ont montré que les premiers effets biologiques se manifestaient sur la rétine à partir de champ électrique interne de l'ordre de 100 mV/m. Ces effets réversibles - et donc non dangereux pour la santé - se traduisent par la perception de légers scintillements lumineux appelés magnétophosphènes. Des magnétophosphènes apparaissent sous des champs externes de 3.000 µT (pour des normes à 100 ou 200 µT) et 50 kV/m (pour des normes à 5 kV/m).

Il existe également de nombreux effets avérés sur le système nerveux (stimulation directe des tissus nerveux et musculaires).

Des études scientifiques montrent également que certaines fonctions cérébrales telles que le traitement visuel et la coordination motrice peuvent être affectés, de manière transitoire, par des champs électriques induits.

Tous ces effets ont des seuils en dessous desquels ils n'apparaissent pas et peuvent donc être évités en respectant certains niveaux de champs électriques induits dans le corps.

5.a.2 Effets potentiels

De nombreuses questions se posent encore quant aux conséquences de l'exposition aux champs électriques et magnétiques 50 Hz sur la santé humaine, particulièrement l'exposition **à long terme aux faibles niveaux d'intensité** souvent rencontrés dans notre vie quotidienne.

Les préoccupations de la population sont nombreuses : maux de tête, troubles du sommeil, cancers, maladie d'Alzheimer, …

En l'absence de vérification scientifique formelle, ces préoccupations sont toujours classées dans les effets potentiels, même si le sujet a été étudié pendant près de 40 ans (voir 5.a.3 ci-dessous).

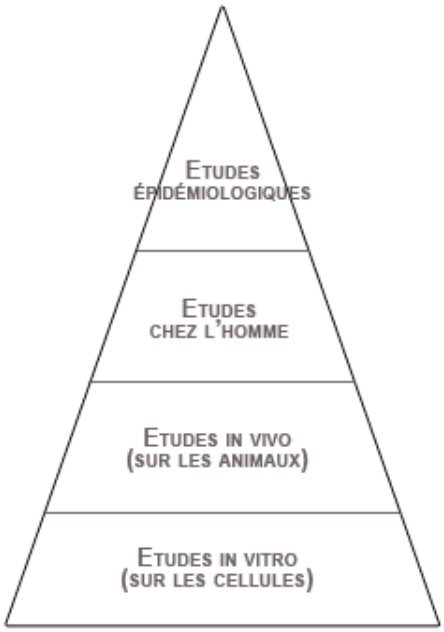
5.a.3 Types d'études sur les effets biologiques

Depuis près de 40 années, des études scientifiques ont été menées afin de déterminer si les champs de très basses fréquences ont un effet potentiel sur la santé humaine.

Ces études sont de différents types :
- études in vitro (au niveau cellulaire),
- études in vivo (sur des animaux de laboratoires),
- études in toto (sur des volontaires humains),
- études épidémiologiques (statistiques).

Chacun de ces types d'études apporte des informations sur le sujet, informations souvent complémentaires (*weight of evidence approach*). En effet, chacune de ces études présente des avantages et des inconvénients. On peut évoquer les biais[3] et la difficulté à démontrer une causalité dans les études statistiques, la difficulté de transposer une étude sur l'animal vers l'homme (différences physiologiques, comparaison des doses difficile), les aspects éthiques, … La plupart de ces études n'a montré aucun effet avéré sur la santé, ou des effets difficilement reproductibles (en effet une étude isolée est une bonne base pour une hypothèse, mais elle doit être répliquée pour confirmer les résultats).

[3] Parmi les biais des études épidémiologiques, on peut citer les biais d'information. Par exemple quelle grandeur faut-il mesurer ? Est-ce le champ d'induction magnétique, la consommation électrique ? Quel paramètre de cette grandeur faut-il considérer ? La valeur moyenne, médiane, de crête ? Où faut-il mesurer ? Devant la maison, dans la maison, dans la chambre à coucher ? Quel seuil faut-il considérer ? 0,2 µT, 0,3 µT, 0,4 µT ? Il y a aussi les biais de sélection, comme par exemple la sous-représentation de sujets de niveau socio-économique défavorisé ou le refus de certains de répondre à un questionnaire.



[BBEMG]

5.a.4 Recommandations et réglementations pour les expositions à basses fréquences

5.a.4.1 Niveau international

L'**ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, en français Commission Internationale pour la Protection contre les Radiations Non Ionisantes) est un organisme constitué d'experts scientifiques indépendants, dont le but est de surveiller et de disséminer les aspects importants des effets potentiels sur la santé des êtres humains à l'exposition des rayonnements non ionisants, dont les champs électromagnétiques très basses fréquences font partie. C'est en coopération avec l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) qu'ils publient des recommandations qui prennent en compte les effets sur la santé qui ont été scientifiquement établis.

Les recommandations relatives aux champs électriques et magnétiques variables ont été publiées en 1998 [1] et confirmées en 2010 [2].

Les recommandations en la matière sont basées sur :

- Les effets avérés (de la perception d'un léger picotement à la surface de la peau jusqu'à des désagréments plus importants) qui peuvent être causés par l'exposition aux champs électriques EBF.
- L'induction de phosphènes dans la rétine par les champs magnétiques EBF peut être utilisée comme modèle pour repérer les effets des champs électriques induits sur le système nerveux central.

Ces recommandations fixent des limites exprimées en termes de ***restrictions de base***. Malheureusement ces valeurs sont exprimées dans des grandeurs non mesurables (densité de courant induite en mA/m^2 ou champ électrique interne en V/m). Sur base de modèles mathématiques, ces restrictions de base ont été converties en ***niveaux de référence***, qui correspondent au niveau des champs (électriques et magnétiques) qui induisent ces valeurs limites non mesurables. Le respect de ces niveaux de référence garantit le respect des restrictions de base. Par contre, si les champs mesurés ou calculés dépassent les niveaux de référence, cela ne veut pas nécessairement dire que les restrictions de base ne sont pas respectées, il faudra le vérifier.

Les valeurs de champs à 50 Hz de ces recommandations sont les suivantes :
- Pour l'exposition aux champs électriques, le niveau de référence à ne pas dépasser pour la population est de 5.000 V/m (5 kV/m) ;
- Pour l'exposition aux champs magnétiques, le niveau de référence à ne pas dépasser pour la population est de 200 µT.

Sur base des recommandations de l'ICNIRP et de la littérature publiée, le **Conseil de l'Union Européenne** a publié une recommandation 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) [3].

A la fréquence de 50 Hz, les effets pris en compte concernent l'influence sur les fonctions du système nerveux due aux courants induits dans le corps ; les limites à cette fréquence sont de :
- 5.000 V/m (5 kV/m) pour le champ électrique et
- 100 µT pour le champ d'induction magnétique.

Cette dernière valeur est donc inférieure d'un facteur 2 au niveau de référence recommandé actuellement par l'ICNIRP (100 µ T en 1998 et 200 µT en 2010) qui se base sur une modélisation plus précise du corps humain permettant de prendre en compte des facteurs de sécurité (incertitudes) moindres.

Plusieurs pays européens ont adopté des limites identiques, ou pratiquement identiques, à celles reprises dans la recommandation du Conseil de l'Union européenne, comme l'Allemagne, la France, le Luxembourg et les Pays-Bas[4].

Limites d'exposition à 50 Hz

Réglementation / Recommandation	Champ électrique	Champ d'induction magnétique
	kVolt par mètre (kV/m)	microtesla (µT)
Belgique	5, 7 ou 10	pas de valeur
Conseil U.E.	5	100
ICNIRP	5	200

5.a.4.2 Niveau fédéral belge

Jusqu'à présent, il n'y a pas de législation au niveau fédéral belge en ce qui concerne les champs d'induction magnétique EBF générés par les installations de transport et de distribution d'électricité. Il est d'usage de se référer à la Recommandation du Conseil de l'Union Européenne pour l'exposition du public (100 µT) [3].

Par contre, la limite du champ électrique généré par les installations de transport et de distribution d'électricité est fixée par un arrêté ministériel du 20 avril 1988 (publié au Moniteur belge du 6 mai 1988) (RGIE, art. 139) aux valeurs suivantes :

- 5.000 V/m (5 kV/m) dans les zones habitées ou qui sont destinées à l'habitat dans le plan de secteur,
- 7.000 V/m (7 kV/m) au surplomb des routes,
- 10.000 V/m (10 kV/m) dans les autres lieux.

[4] Comparison of international policies on electromagnetic fields, National Institute for Public Health and the Environment, The Netherlands, 2018.

Il s'agit de valeurs maximales, en régime non perturbé, mesurées à 1,50 m du sol ou des habitations.

5.a.4.3 Niveau régional belge

5.a.4.3.a En Région flamande

L'Arrêté de la Région flamande du 11 juin 2004, modifié le 13 juillet 2018, concerne les mesures de lutte concernant les risques pour la santé par les **pollutions intérieures**. Cet arrêté stipule des valeurs de qualité pour différents facteurs chimiques, physiques et biotiques pour l'environnement intérieur. Pour les champs magnétiques, les valeurs suivantes sont retenues : valeur guide de 0,4 µT et valeur d'intervention (ou valeur déclenchant l'action) de 20 µT.

5.a.4.3.b En Région de Bruxelles-Capitale

Il n'y a pas de législation générale dans cette région. Il y a un arrêté du 9 septembre 1999 fixant les conditions d'exploitation relatives aux **transformateurs statiques** d'une puissance nominale comprise entre 250 et 1000 kVA.

- La valeur du champ électrique non perturbé, en régime non perturbé, généré par l'installation doit être inférieure à 5 kV/m ;
- A l'extérieur du local de transformation, les valeurs de l'induction magnétique 50 Hz sont limitées à 100 µT en exposition permanente et à 1000 µT en exposition de courte durée.

Une circulaire ministérielle du 29/03/2013 implique pour tout nouveau transformateur statique :
Dans tous les locaux où des enfants de moins de 15 ans sont susceptibles de séjourner, la valeur de l'induction magnétique à 50 Hz générée par l'installation, est limitée à la valeur guide de 0,4 µT en exposition permanente sur une moyenne de 24 heures, à l'exclusion des zones influencées par les câbles avant qu'ils n'entrent dans la parcelle abritant la sous-station. En cas d'impossibilités de respecter cette norme, il est du ressort du demandeur d'en apporter la preuve (impossibilité technique et économique éventuelles), et de mentionner le niveau le plus bas potentiellement réalisable selon le principe BATNEEC (Best Available Technology Not Entailing Excessive Cost), mais l'induction magnétique ne peut jamais dépasser 10 µT.

5.a.4.3.c En Région wallonne

Il n'y a pas de législation générale dans cette région. Il y a un arrêté du 1er décembre 2005 déterminant les conditions sectorielles relatives aux **transformateurs statiques** d'électricité d'une puissance nominale égale ou supérieure à 1.500 kVA :
Art. 5. Dans les zones où une exposition humaine permanente est prévisible, à l'extérieur de la zone de sécurité électrique, la valeur du champ électrique non perturbé, en régime non perturbé, généré par le transformateur reste inférieure à 5 kV/m lorsque f = 50 Hz ± 1 %, ou inférieure à 250/f kV/m lorsque f est différent de 50 Hz.
Art. 6. Dans les zones où une exposition humaine permanente est prévisible, à l'extérieur de la zone de sécurité électrique, la valeur de l'induction magnétique générée par le transformateur reste inférieure à 100 µT lorsque f = 50 Hz ± 1 %, ou inférieure à 5.000/f µT lorsque f est différent de 50 Hz.

5.a.5 Revue de la littérature scientifique

5.a.5.1 Position de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

En 1996, l'OMS a créé le Projet international sur les champs électromagnétiques afin d'étudier les risques potentiels pour la santé associés aux technologies émettrices de ces champs. Un groupe spécial de l'OMS, constitué d'experts scientifiques, a achevé en 2007 un examen des répercussions des champs EBF sur la santé. Les résultats de ce groupe ont été publiés dans un aide-mémoire (n°322, de Juin 2007) [4] qui fait le point sur les analyses concernant les effets sanitaires des champs électromagnétiques EBF publiées en 2002 par le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), et en 2003 par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP).

Tandis que le CIRC avait examiné les données concernant le cancer en 2002, ce groupe de l'OMS a, quant à lui, analysé les données concernant un certain nombre d'effets sanitaires et mis à jour celles concernant le cancer. Les conclusions et recommandations du groupe spécial sont présentées dans une monographie OMS des critères d'hygiène de l'environnement (OMS, 2007) [5].

A la suite d'un processus d'évaluation standard des risques sanitaires, le groupe spécial a conclu qu'il n'existe pas de problèmes de santé notables liés aux champs électriques EBF aux intensités généralement rencontrées par le grand public.

En ce qui concerne les effets, l'OMS distingue les effets à court terme (quasi immédiat) et les effets potentiels à long terme (sur plusieurs mois, voire plusieurs années).

A court terme, il existe des effets biologiques établis associés à une exposition à de fortes intensités qui s'expliquent par des mécanismes biophysiques reconnus. Les champs magnétiques EBF extérieurs induisent des champs et des courants électriques dans le corps humain qui, lorsque l'intensité du champ est très forte, provoquent une stimulation nerveuse et musculaire et modifient l'excitabilité des cellules du système nerveux central.

En cas d'exposition à des champs électriques et/ou magnétiques 50 Hz d'intensités très élevées, des effets directs peuvent survenir. Ces derniers sont bien étudiés chez des volontaires humains et des animaux. Tous ces effets ont des seuils en-dessous desquels ils n'apparaissent pas. Ils peuvent donc être évités en respectant les restrictions de base (voir §5.a.4.1) des champs électriques induits dans le corps.

Par contre, de nombreuses questions se posent quant aux effets sur la santé de l'exposition à long terme à des intensités faibles (de l'ordre du µT), souvent rencontrées dans notre vie quotidienne. Ces interrogations sur les effets « long terme/faibles intensités » ont été initiées par une étude menée fin des années 70. Il s'agissait d'une étude exploratoire qui, en analysant un grand nombre de paramètres différents, cherchait à comprendre l'origine de la leucémie dans l'environnement des enfants. Les champs électriques et magnétiques 50 Hz étaient une des variables étudiées. Par la suite, les études épidémiologiques ont montré, avec une certaine cohérence, une association entre les expositions résidentielles aux champs magnétiques 50 Hz à une intensité supérieure à 0,3-0,4 µT et un risque doublé de leucémie infantile, mais l'association observée seule n'est pas suffisante pour conclure à une relation de causalité.

Les recherches sur les champs de faibles intensités ont également porté sur différents types de cancers, les maladies neurodégénératives, les pathologies cardiovasculaires, la dépression, le suicide, les troubles neurocomportementaux, les troubles de la fertilité, l'hypersensibilité, les troubles du sommeil… mais sans mettre en évidence de relations causales.

Il est important de noter qu'à ce jour, aucun mécanisme d'action n'a été démontré, ni sur des cellules, ni sur des animaux de laboratoire, qui permettrait d'expliquer des risques sur la santé.

5.a.5.2 Études européennes

Voici les conclusions du "European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure" (EFHRAN) [6,7,8] :

Résultats	**Force de la preuve**
Cancer	
Leucémie infantile	Limitée
Tumeurs cérébrales de l'enfant	Inadéquat
Tumeurs cérébrales de l'adulte	Inadéquat
Cancers du sein de l'adulte	Absence d'effet
Autres cancers (enfant ou adulte)	Inadéquat
Maladies neurodégénératives	
Maladie d'Alzheimer	Inadéquat
Sclérose latérale amyotrophique (ALS)	Inadéquat
Autres maladies neurodégénératives	Inadéquat
Reproduction	
Tous les résultats	Inadéquat
Maladies cardiovasculaires	
Toutes les maladies	Absence d'effet
Bien-être	
Hypersensibilité à l'électricité (EHS)	Absence d'effet
Symptômes	Inadéquat

Légende :
- Limitée : preuve limitée (quand la preuve est limitée à quelques études, ou que des questions non résolues subsistent sur l'étude ou que des facteurs confondants ne peuvent pas être exclus de l'étude) ;
- Inadéquat : preuve inadéquate (quand l'étude est limitée en terme de qualité, de cohérence ou de puissance statistique) ;
- Absence d'effet.

Ces conclusions ont été confirmées par le SCENHIR dans son dernier rapport (2015) : « Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields » [9].

5.a.5.3 Avis de l'ANSES (France)

En 2010, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET qui deviendra l'ANSES) avait publié un avis de synthèse de l'expertise internationale sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques EBF. Cette expertise concluait à une forte convergence entre les différentes évaluations des expertises internationales sur de possibles effets sanitaires à long

terme, notamment concernant l'association entre l'exposition aux champs magnétiques EBF et la leucémie infantile.
Plus récemment (publications à partir de 2013), l'étude Géocap, dont l'objectif était d'étudier l'influence de différentes expositions environnementales en France sur le risque de cancer de l'enfant, a mis en évidence, chez les enfants âgés de moins de 5 ans, une association statistiquement significative entre le fait d'habiter à moins de 50 m de l'aplomb d'une ligne à très haute tension (supérieure à 225 kV) et le risque de développer une leucémie infantile. Dès lors l'ANSES a mis à jour l'expertise sur les effets sanitaires. Elle a publié en 2019 un rapport d'expertise sur les conséquences des champs électromagnétiques EBF concernant l'Homme [10]. Cette mise à jour s'est basée sur les résultats des expertises antérieures à 2010 réalisées par l'ANSES et par des organismes nationaux et internationaux et sur l'analyse systématique des études scientifiques publiées depuis 2010.

La méthodologie utilisée a permis de classer les différents effets potentiels de l'exposition aux champs électromagnétiques EBF chez l'homme. La synthèse est présentée dans un tableau qui reprend les éléments de preuve et les niveaux de preuve associés à chaque effet étudié. En dehors de la leucémie infantile où ils concluent à un effet possible, même si les études publiées après 2010 retrouvent moins fréquemment ce lien, pour tous les autres effets étudiés (tumeur du système nerveux central chez l'enfant, cancer du sein, tumeur du système nerveux central, hémopathie maligne, sclérose latérale amyotrophique, maladie d'Alzheimer et maladie de Parkinson), la conclusion est que l'ensemble des données disponibles ne permet pas de conclure à l'existence ou non d'un effet des champs. Ces conclusions sont tout à fait similaires à celles présentées par l'EFHRAN en 2012 (voir §5.a.5.2).

Cette étude extrêmement complète est également intéressante pour les recommandations qu'elle présente concernant :
- la métrologie (mesures sous accréditation),
- la poursuite de la caractérisation de l'exposition, en particulier près des postes de transformation électrique, si plusieurs sources sont présentes,
- la réalisation de simulations a priori,
- la facilité pour les particuliers à obtenir des mesures,
- l'éloignement pour l'implantation de nouveaux lieux sensibles (hôpitaux, maternités, établissements accueillant des enfants tels que crèches, écoles maternelles, écoles primaires, etc.) des liaisons haute tension, malgré l'absence de preuve d'un lien de causalité direct,
- la poursuite des études en particulier pour les expositions professionnelles importantes et sur la leucémie infantile (notamment via des études poolées[5]).

5.a.5.4 Études spécifiques sur la leucémie infantile

Pour les effets à long terme, la plupart des recherches scientifiques se sont concentrées sur la leucémie infantile. En 2002, le CIRC a publié une monographie dans laquelle il classait les champs magnétiques EBF comme peut-être cancérigènes pour l'homme (catégorie 2-b)[6].

[5] Une étude poolée consiste à analyser de manière globale les données individuelles de plusieurs études indépendantes, comme s'il s'agissait d'une seule grosse étude., on parle alors d'**analyses poolées**. La combinaison de plusieurs études par méta-analyse ou analyse poolée synthétise un grand nombre d'informations et augmente la puissance statistique.

[6] Le CIRC a évalué une large gamme de substances et d'agents quant à leur impact éventuel sur le cancer selon un système de classification comportant les catégories suivantes (Janvier 2018) :
1 – cancérigène (une centaine de substances comme l'amiante, le tabagisme actif et passif) ;
2-a – probablement cancérigène (quelques 80 substances comme l'exposition professionnelle des coiffeurs) ;
2-b – peut-être cancérigène (plus de 300 substances comme les champs électromagnétiques RF, les champs magnétiques EBF, les gaz d'échappement des moteurs à essence, le plomb) ;
3 – inclassifiable (près de 500 substances, dont le café) ;
4 – probablement non cancérigène (une seule substance, le caprolactame).

Cette catégorie 2-b est la plus basse des trois utilisées par le CIRC (Catégorie 1 cancérigène pour l'homme, Catégorie 2a probablement cancérigène pour l'homme et Catégorie 2b peut-être cancérigène pour l'homme) pour classer les agents cancérogènes potentiels en fonction des preuves scientifiques publiées.

Cette catégorie 2-b est utilisée pour caractériser un agent pour lequel on dispose d'éléments limités indiquant sa cancérogénicité chez l'homme et de données insuffisantes relatives à sa cancérogénicité chez les animaux d'expérience.

Cette classification était basée sur des méta-analyses d'études épidémiologiques (études se basant sur des comparaisons statistiques entre des populations soumises, dans leur vie quotidienne, à des niveaux d'exposition différents) démontrant un phénomène régulier de multiplication par deux du nombre de leucémies infantiles associées à une exposition moyenne à un champ magnétique 50 Hz dans les habitations supérieur à 0,3-0,4 µT. Il faut insister que ces conclusions se basent sur des expositions moyennes à long terme (plusieurs années). Le groupe spécial a conclu que les autres études effectuées depuis lors ne permettent pas de modifier cette classification. Néanmoins, les méta-analyses les plus récentes ne montrent plus ce doublement du risque mais un rapport moindre, ces études utilisent des méthodologies plus précises, notamment en termes de mesures d'exposition.

Toutefois, les éléments épidémiologiques perdent de leur force à cause de problèmes méthodologiques (biais), comme par exemple des biais de sélection et d'information possibles. En outre, il n'existe aucun mécanisme biologique accepté qui laisserait à penser que les expositions à faible intensité jouent un rôle dans le développement d'un cancer, en effet les radiations non ionisantes ne montrent pas directement d'effets mutagènes. Ainsi, s'il y avait des effets des expositions à ces champs de faible intensité, ce devrait être par le biais d'un mécanisme biologique jusqu'ici inconnu ou des effets potentiels de co-promotion.

En outre, les études chez l'animal avec des expositions sur leur durée de vie ont été en grande partie négatives. L'OMS conclut que les éléments de preuve en rapport avec la leucémie infantile ne sont pas suffisamment probants pour être incriminés en tant que cause (pas de lien de causalité).

On sait que la leucémie infantile est une maladie rare qui, en 2000, a compté près de 49.000 nouveaux cas dans le monde. Ceci complique fortement les études épidémiologiques puisqu'il faut « suivre » une population très importante pour obtenir des résultats qui soient statistiquement significatifs.
Les expositions moyennes à des champs magnétiques dépassant 0,4 µT dans les habitations sont rares : on estime que seuls 1 à 4 % des enfants vivent dans de telles conditions. Si l'association entre champs magnétiques et leucémie infantile montrait une relation de cause à effet, le nombre de cas qui, au niveau mondial, pourraient être attribués à une exposition à un champ magnétique devrait, selon les estimations, se situer entre 100 et 2.400 par an d'après les valeurs enregistrées pour l'année 2000, ce qui représente 0,2 à 4,95 % de l'incidence totale pour cette année[7]. Ainsi, si les champs magnétiques EBF augmentaient véritablement le risque de maladie lorsqu'on les considère dans un contexte mondial, les effets d'une exposition aux champs électromagnétiques EBF sur la santé publique seraient limités.

Des effets sur la santé liés à une forte exposition à court terme ont été établis et constituent la base de deux recommandations internationales relatives aux limites d'exposition (ICNIRP, 1998 – confirmé

Cette classification est basée sur une revue des études disponibles par des groupes de travail, en se focalisant sur les aspects qualitatifs et non quantitatifs.

[7] De telles estimations ne sont pas disponibles pour la Belgique. Deux études effectuées en Flandre rapportent des chiffres similaires, entre 1 et 2,5%.

en 2010 ; IEEE, 2002). A l'heure actuelle, ces organismes estiment que les éléments scientifiques établissant un rapport entre les effets sanitaires possibles d'une exposition à de faibles champs EBF à long terme sont insuffisants pour justifier d'abaisser ces limites quantitatives d'exposition.

Il convient de rappeler que le niveau de 0,4 µT n'est pas une norme, mais un seuil qui a été adopté dans certaines études épidémiologiques pour classer les populations.

L'OMS a donc formulé les recommandations suivantes :

- Les pouvoirs publics doivent suivre l'évolution scientifique et promouvoir des programmes de recherche permettant de réduire l'incertitude qui entoure les éléments scientifiques concernant les effets sanitaires de l'exposition aux champs EBF.
- Les États Membres sont encouragés à mettre en place des programmes de communication efficaces et ouverts avec toutes les parties concernées afin de prendre des décisions en connaissance de cause. Pour cela, il faudra peut-être améliorer la coordination et la consultation entre l'industrie, les autorités locales et les citoyens lors du processus de planification des installations émettrices de champs électromagnétiques EBF.
- Lorsqu'on construit de nouvelles installations et que l'on conçoit de nouveaux équipements, y compris des appareils, il convient d'explorer les méthodes permettant de réduire les expositions à bas coût. Les mesures appropriées de réduction de l'exposition varieront d'un pays à l'autre. Cependant, les politiques basées sur l'adoption de limites d'exposition arbitrairement faibles ne sont pas justifiées.

5.b Effets directs des champs magnétiques et électriques générés par les lignes électriques aériennes à haute tension sur les animaux et les végétaux

5.b.1Préliminaire

Cette partie du rapport se focalise sur les effets directs[8] des champs électriques (CE) et magnétiques (CM) d'extrêmement basses fréquences (*i.e.* 50 et 60 Hz, EBF) sur les animaux élevés et les végétaux cultivés dans les exploitations agricoles à proximité des lignes électriques aériennes à haute tension.

Elle se base sur la littérature scientifique collectée par les auteurs de cette étude selon les principes définis au chapitre 4. Les articles scientifiques retenus pour réaliser cette synthèse seront cités dans la suite du document. Cette étude se base aussi sur 2 rapports scientifiques jugés pertinents et fiables par les auteurs. La recherche n'a pas été étendue aux insectes pollinisateurs, cette catégorie d'animaux n'entrant pas dans le champ de l'étude.

Le premier rapport est celui produit par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail en France (ANSES, 2015) [11]. Ce rapport émane d'un collectif de 12 experts aux compétences diverses et complémentaires[9]. Il se base sur l'analyse de plus de 300 publications scientifiques, des auditions et une campagne de mesures des champs électriques et magnétiques dans des exploitations agricoles contenant des vaches laitières, des porcs et des volailles. Le rapport d'expertise a été dans un second temps validé tant pour les aspects méthodologiques que

[8] Les effets directs concernent uniquement les courants induits dans le corps des animaux consécutivement à l'exposition aux CE et CM. Les effets indirects concernent des courants et des tensions parasites induits par les CE et les CM sur les structures métalliques des bâtiments qui peuvent se manifester par des décharges électriques que subissent les animaux au contact des parties métalliques ou par une circulation de courant dans le corps à travers l'application d'une différence de potentiel.

[9] Les domaines d'expertise couvraient la physique, les champs électromagnétiques, la génétique du stress, la neurobiologie, la neurophysiologie, l'endocrinologie, la physiologie, la pathologie, la bactériologie, la parasitologie, l'épidémiologie, l'éthologie, le bien-être animal et la zootechnie.

scientifiques par un comité d'experts spécialisés constitué de 30 scientifiques français et étrangers. Cette étude ne portait pas sur les effets des CE et des CM EBF sur les plantes.

Le deuxième rapport est une étude scientifique (Malkemper et al., 2018) [12] réalisée dans le cadre d'une action européenne Horizon 2020[10] mêlant l'expertise de biologistes, d'écologues et de physiciens. Son objectif était de recenser la littérature scientifique postérieure à 2000 étudiant les effets des champs électromagnétiques au sens large sur la faune et la flore sauvage. Au départ de plus de 140 publications scientifiques, 97 ont été conservées pour l'étude après l'application de critères très stricts de qualité. Dans ce rapport, les effets des CE et CM EBF sont globalement très peu abordés, particulièrement chez les animaux de rente et les plantes cultivées au sein des exploitations agricoles.

5.b.2 Intensité des champs électriques et magnétiques à proximité des liaisons électriques aériennes à haute et très haute tension et dans les exploitations agricoles

A notre connaissance, seul le rapport ANSES (2015) [11] reprend des mesures des intensités des CE et CM EBF induits par les liaisons électriques aériennes à haute ou très haute tension à proximité et dans les bâtiments d'exploitations agricoles.

La campagne de mesures réalisée montre que les CM (50 Hz) mesurés sous les lignes de transport d'électricité haute tension (HT) ou très haute tension (THT) avaient une intensité comprise entre 0,01 et 7,59 µT et que les CE (50 Hz) variaient de 46 à 5.060 V/m. Les incertitudes de mesure étaient respectivement de 11 et 17 %.

A l'intérieur des bâtiments fréquentés par les animaux dans les exploitations proches des lignes (moins de 200 m), la valeur des CM était inférieure à 3 µT et celle des CE inférieure à 43 V/m. Les mesures correspondantes dans les exploitations à l'écart des lignes (plus de 200 m) donnent des valeurs de 0 à 0,19 µT pour le CM et de 0 à 14,5 V/m pour le CE (niveau présent classiquement dans l'environnement).

Cette campagne démontrait aussi que pour un site donné proche des lignes :
- Les intensités des champs décroissaient avec la distance par rapport à la ligne. Ainsi la valeur du CM était pour un site de mesure de 7,6 µT sous les lignes et de 2,9 µT à 24 m des lignes (400/400 + 225 + 90 kV) sur un site.
- La valeur du CE était de 2.814 V/m à l'extérieur mais de 6,8 V/m dans le bâtiment sous la ligne 400 kV sur un autre site.

Par ailleurs, des sources ponctuelles de CM (large bande de 40 Hz à 10 kHz) liées aux équipements électriques ont été mesurées (valeur maximale mesurée à 30 cm de la source) dans les bâtiments des exploitations agricoles. Les valeurs les plus élevées (incertitude de 18 %) concernaient l'armoire électrique (24,00 µT), la machine à soupe (18,92 µT), le lavage du tank à lait (11,02 µT), la vis d'alimentation (10,91 µT), le compresseur (9,70 µT) et la pompe à lait (9,17 µT) selon cette étude. En outre, les valeurs ne dépassaient jamais 10 µT lorsque la mesure de l'intensité du CM était effectuée à plus d'un mètre de la source.

Durant cette campagne, la durée d'exposition des animaux aux CE et CM a été mesurée uniquement pour des vaches dans des exploitations à proximité des lignes (7 exploitations et 1 à 2 animaux par exploitation) et durant seulement 24 h. Des mesures similaires ont été réalisées dans des exploitations (5 exploitations et 1 à 2 animaux par exploitation) à plus de 200 m des lignes HT et THT mais durant cette fois uniquement 8 à 9 h. Le rapport reprend les résultats pour les différents sites. L'exposition

[10] Le programme Horizon 2020 est une source de financement européenne de programmes de recherches.

d'un animal au CM est très variable au cours de la journée, en fonction notamment des activités des animaux mais aussi de la variation du ou des CM.

Au cours du nycthémère (*i.e.* période de 24 h associant la phase diurne et la phase nocturne), les animaux des exploitations proches des lignes sont potentiellement les plus exposés (*i.e*. nombre d'heures) à des CM variant de 0 à 0,42 µT et les valeurs correspondantes pour les fermes éloignées sont de 0 à 0,1 µT (un seul site sur les 5 où la valeur est de 0 à 0,42 µT). Les valeurs maximales de CM sont de 0,8 à 3 µT pour les exploitations à moins de 200 m des lignes et de 0,1 à 0,42 µT pour les exploitations à plus de 200 m des lignes.

Le rapport ANSES (2015) [11] insistait sur la nécessité de pratiquer un monitoring d'exposition des animaux aux CM internes (*i.e.* induits par le matériel électrique de l'exploitation) et externes (*i.e.* induits par les lignes électriques aériennes HT ou THT) dans les exploitations agricoles à proximité des lignes de transport de l'électricité. Ce type de monitoring permet en effet de mesurer l'intensité des CE et des CM potentiels mais aussi d'évaluer l'exposition réelle des animaux en fonction de l'environnement de l'exploitation et de leur comportement (*i.e.* position par rapport à la ou aux sources de champs). Ce monitoring paraît indispensable pour évaluer les effets biologiques et zootechniques potentiels des CE et CM EBF sur les animaux de ferme en fonction de l'intensité des champs et de la durée d'exposition.

5.b.3 Effets des CE et CM EBF sur les animaux

5.b.3.1 Effets biologiques sur les animaux modèles et de rente

Sachant que l'exposition à des CE et CM EBF est susceptible d'induire des champs et des courants électriques à l'intérieur du corps, les effets biologiques des EBF sont donc possibles chez les animaux de rente. Il faut néanmoins garder à l'esprit que le CE EBF pénètre peu dans le corps, soit un CE interne de quelques mV/m pour un CE externe de quelques kV/m selon ANSES (2015) [11]. Les effets des CE EBF sont donc essentiellement la création d'un courant superficiel au niveau du corps et un faible courant résiduel à l'intérieur du corps. A l'inverse, un CM EBF pénètre plus profondément dans le corps et est susceptible de générer un courant, mais dont l'intensité est globalement 5000 fois plus faibles que les courants naturels selon ANSES (2015) [11].

Par ailleurs, les effets des CE et CM EBF dépendant de la résistance électrique du corps, qui elle -même dépend de l'espèce animale (homme 1,5 kΩ, volailles de 19 à 2.200 kΩ, porc de 0,6 à 3,3 kΩ et bovins de 0,2 à 0,9 kΩ), de facteurs individuels (trajet du courant dans le corps, composition de la masse corporelle, poids, surface de contact au sol) et environnementaux comme l'humidité (ANSES, 2015) [11]. Un champ donné aura donc des effets en fonction de la résistance corporelle de l'animal, qui varie en fonction des facteurs énoncés précédemment.

De nombreux travaux démontrent que les animaux, dont les vertébrés, sont sensibles aux champs naturels de faible intensité (*i.e.* moins de 100 µT, voire quelques µT) et que ces derniers pilotent leurs comportements (orientation, direction des trajectoires, migration…). On peut dès lors supposer que toute modification des champs par les activités de l'homme est susceptible de perturber des comportements, voire le fonctionnement, des animaux (Biasotto & Kindel, 2018) [14].

Des travaux scientifiques conduits dans ce domaine étudient divers paramètres biologiques susceptibles d'être modifiés par les champs EBF tandis que d'autres tentent de démontrer du point de vue théorique sur la base des connaissances biophysiques du fonctionnement cellulaire la possibilité d'un tel effet.

Du point de vue théorique (le fonctionnement de la cellule et les champs électriques induits au niveau cellulaire), les CM continus inférieurs à 50 µT (*i.e.* valeur du champ terrestre) ne peuvent avoir des effets biologiques importants, il en est de même pour les CM alternatifs 50-60 Hz inférieurs à 1 µT selon Adair (2000) [15].

Le principe de Adair (2000) [15] est cependant réfuté expérimentalement par Belova et al. (2007) [16] qui démontrent que de très faibles CM alternatifs (de l'ordre de quelques µT, nT voire pT) sont susceptibles d'influencer des réponses biologiques sur une modèle animal (les planaires, vers plats aquatiques) et un modèle végétal (le lin). Selon leurs études, les spins nucléaires des atomes d'hydrogène seraient les cibles préférentielles des champs EBF chez les 2 modèles biologiques.

Dans leur revue, Belova et Acosta-Avalos (2015) [17] estiment que des effets biologiques sont en réalité mesurables chez les animaux suite à l'application de CM alternatifs d'une intensité comprise entre 1 et 10 µT. Cette revue identifie des paramètres biologiques susceptibles de varier (*i.e.* sur des modèles cellulaires le plus souvent) sans pour autant démontrer que le fonctionnement de l'animal est réellement modifié.

Les mécanismes probables d'action des champs EBF sur les animaux portent sur le rythme circadien (mélatonine et/ou cryptochromes rétiniens), les canaux ioniques, le matériel génétique (aberrations chromosomiques), le stress oxydatif, le système immunitaire et le stress physiologique.

5.b.3.1.a Stress oxydatif

Le stress oxydatif correspond à une agression cellulaire consécutive à l'accumulation des espèces réactives de l'oxygène (ROS), principalement, et de l'azote (REN), secondairement. Ces espèces réactives sont produites durant des réactions aérobies mobilisant les atomes d'oxygène et d'azote, respectivement. Leur homéostasie cellulaire est pilotée très finement par les antioxydants ou des enzymes dédiées car ces espèces réactives sont très réactionnelles vis-à-vis des autres molécules de la cellule. Le stress oxydatif est globalement considéré comme un facteur d'inflammation et de mutagenèse. Les espèces réactives incluent principalement des ions et des radicaux libres.

Les effets des CM EBF sur les ROS ont été revus par Wang et Zhang (2017) [18] selon la fréquence (7,5 à 75 Hz), l'intensité (50 µT à 8 mT) et la durée d'exposition (minute à 90 jours). Suivant cette revue (117 références de 1995 à 2017), des travaux démontrent une augmentation des ROS, d'autres une diminution, voire une absence d'effet sur ce paramètre. Aux dires des auteurs, les effets dépendent d'une multitude de facteurs propres au modèle utilisé (lignée cellulaire, tissus, type de ROS, …), aux caractéristiques du champ magnétique (fréquence et intensité) et à la durée d'exposition. Lai (2019) [19] obtenait les mêmes conclusions que les précédentes en incluant dans les espèces réactives celles basées sur l'azote (RNS).

Selon l'étude Wang et Zhang (2017) [18], la littérature consultée démontre que les champs EBF sont susceptibles de modifier les ROS dans les cellules animales, mais les changements ne sont pas toujours opérés dans la même direction. De plus, de nombreux travaux étudient les effets induits par des champs d'intensité plus élevée (> 100 µT) que ceux induits par les lignes électriques aériennes HT ou THT (*cf. infra*).

Adair (2000) [15] réfutait du point de vue théorique tout effet des champs EBF sur ce paramètre. Plus récemment, Hore (2019) [20] confirme, toujours du point de vue théorique, le peu de vraisemblance d'un effet des champs EBF sur la variation des radicaux au niveau des cryptochromes de l'homme. Selon ses travaux, l'augmentation de la production de ces radicaux consécutive à un CM de 50-60 Hz de 1 µT en présence du champ magnétique terrestre serait au maximum de 10 ppm, soit une valeur

très faible. Il démontre de plus qu'une diminution de 1 µT du champ magnétique terrestre, soit la variation naturelle diurne, induirait un effet 100 à 500 plus grand que le CM EBF simulé dans son étude théorique.

5.b.3.1.b Les cryptochromes

Les cryptochromes sont des flavoprotéines sensibles à la lumière visible qui interviennent dans la régulation des rythmes circadiens au niveau cellulaire (état réduit la nuit et oxydé le jour). Ils sont par ailleurs sensibles au magnétisme (*i.e.* ils interviendraient dans la magnétoréception via leur état rédox). Ces protéines sont présentes à la fois dans le règne végétal et animal au niveau du système nerveux mais aussi des tissus périphériques. Leur synthèse et leur mode de fonctionnement pourraient être influencés par les champs magnétiques autre que le terrestre dont les EBF (Vanderstraeten, 2017) [21].

Il est acquis que l'état d'oxydoréduction des cryptochromes est modifié par une variation du champ magnétique terrestre naturel (*i.e.* champ statique) mais aussi par les CE et CM EBF (ANSES, 2015) [11].

Le rapport Eklipse concluait que certaines études suggèrent que les champs émanant des lignes électriques affectent le sens magnétique des vertébrés, mais la littérature consultée par les auteurs du rapport Eklipse ne permet pas de dissocier un effet spécifique des CM 50Hz, à ceux des harmoniques ou même aux champs électriques respectifs (Malkemper et al., 2018) [12].

De par leurs rôles sur les rythmes biologiques, dont la multiplication cellulaire, une modification des cryptochromes induite par l'environnement électromagnétique de l'animal devrait avoir des impacts sur le fonctionnement cellulaire (ANSES, 2015) [11]. Toutefois récemment, il a été démontré qu'un champ magnétique (50 Hz, 580 µT, 30 minutes) appliqué à des souris de 8 à 12 semaines ne modifiait pas l'expression des gènes cry1 et cry2 codant les cryptochromes dans le foie, les glandes surrénales, et l'hippocampe dorsal (Lundberg et al., 2019) [22].

5.b.3.1.c Synthèse de mélatonine

La mélatonine est une neurohormone synthétisée au départ de la sérotonine, elle-même issue du tryptophane. Elle est une hormone centrale dans la régulation des cycles biologiques chez les animaux. Elle constitue le principal repaire biologique saisonnier chez beaucoup d'animaux du fait que la seconde partie de sa synthèse se déroule principalement durant la période nocturne. Elle est par exemple déterminante pour initier la reproduction chez les petits ruminants (*i.e.* ovins et caprins) en jours descendants. Elle aurait aussi des rôles antioxydants et modulerait le système immunitaire (*i.e.* fonction immunomodulatrice).

La diminution du pic nocturne de la sécrétion de mélatonine chez les animaux soumis à un CE et CM EBF était mise en évidence dans le rapport ANSES (2015), mais en l'absence de la démonstration de son effet sur le fonctionnement cellulaire, cette perturbation était jugée non pertinente pour expliquer les effets éventuels des champs EBF chez les animaux.

Postérieurement au rapport ANSES (2015) [11], une seule étude étudiant les effets des CE et CM EBF sur la mélatonine a été identifiée. Dans cette étude, des veaux de 1 à 2 mois ont été exposés durant 1 mois en été et en hiver à un champ magnétique (50 Hz et 0,4 µT) en plus du champ magnétique terrestre (49 µT) et la concentration salivaire en mélatonine a été comparée à celles de veaux non soumis au champ magnétique alternatif. L'hypothèse de base était que le CM réduisait la production de mélatonine. Les résultats montrent que durant l'hiver la sécrétion est diminuée alors qu'elle est augmentée en été suite à l'exposition des animaux au champ supplémentaire. En outre, la diminution

est plus prononcée que l'augmentation chez les veaux soumis au champ par rapport aux animaux témoins. L'effet de CM EBF sur la mélatonine est donc fonction de la photopériode (Kolbabová et al., 2015) [23].

Les résultats de cette expérience sont repris à la figure ci-après.

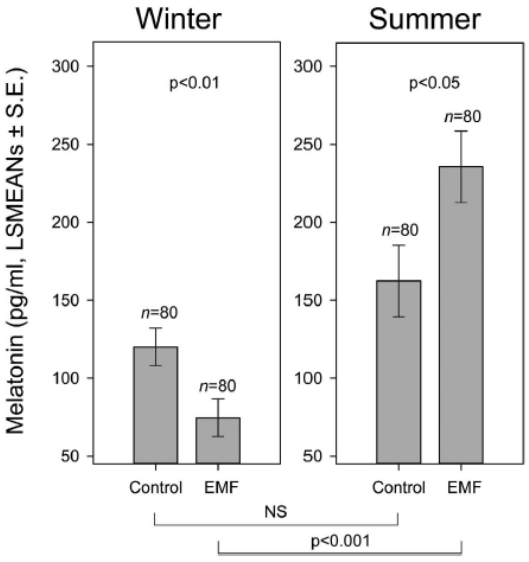


Figure 1. Melatonin concentrations (pg/ml) for control and experimental (EMF) calves (LSMEANs ± S. E.) in winter (left) and summer (right).

5.b.3.1.d Le stress physiologique

Selon l'ANSES (2015) [11], les CE (6 à 50 kV/m) et CM (4 à 30 µT) EBF sont sans effet sur les paramètres physiologiques témoins d'un stress chez les mammifères domestiques.

Les recherches bibliographiques ont identifié une seule étude postérieure à ce rapport démontrant un effet des CM EBF sur le comportement des animaux de rente.

Laszlo et al. (2018) [24] ont soumis des dindes (5 kg de poids vif) à un champ alternatif (10 µT, 50 Hz) mais de manière intermittente (20 min chaque heure pendant 3 semaines), pratiqué des observations comportementales et dosé des enzymes (en principe influencées par le stress) dans le sérum sanguin. Les résultats ont été comparés aux paramètres mesurés chez des dindes non soumises au champ.

Durant la phase test, les dindes soumises au champ exprimaient davantage d'inactivités traduisant, selon les auteurs, un comportement dépressif, mais aucun paramètre sérologique n'était différent. Ils ont par conséquent qualifié l'effet des CM EBF de « subtoxique ».

Ils ont complété leur protocole en développant un modèle *in vitro* permettant de tester les effets des CM EBF sur les récepteurs de la norépinephrine (*i.e.* noradrénaline) et démontré une diminution significative et continue des récepteurs durant la phase test.

L'intérêt de l'étude a été aussi de pratiquer les mêmes mesures (durant 5 semaines) en l'absence du champ alternatif chez les animaux préalablement soumis à ce champ afin de déterminer la réversibilité de l'effet sur les récepteurs. La conclusion est positive : le processus est réversible selon leur approche *in vitro*.

Bien que publié dans une très bonne revue (Poultry Science), il est regrettable qu'aucune donnée comportementale durant la période d'application du champ ne soit quantifiée dans l'article. De même, aucune observation comportementale n'a été réalisée durant la seconde période (*i.e.* absence de champ) : la réversibilité de la dépression des animaux n'est donc pas démontrée.

5.b.4 Effets sur les performances zootechniques et impact sanitaire des animaux

Les études de terrain (*i.e.* suivi des animaux dans des exploitations agricoles) réalisées dans les années 70 et 80 montrent que les CE et CM EBF induits pas les lignes électriques aériennes n'avaient pas d'effet sur les paramètres de production et de reproduction des bovins ainsi que sur leur situation sanitaire (ANSES 2015) [11].

Ce même rapport concluait l'absence d'effet direct des CE et CM EBF (jusqu'à 12 kV/m) sur le comportement au pâturage des bovins à proximité et sous les lignes HT et THT, hormis ponctuellement un alignement spontané des animaux durant le pâturage et le repos qui pouvait être différent (ANSES, 2015) [11].

En situation contrôlée[11], le rapport ANSES (2015) [11] concluait que la littérature scientifique disponible (*i.e.* jusque 2014) ne permet pas de conclure sur un effet majeur et spécifique (*i.e.* un effet significatif mesurable et induit directement par les CE et CM EBF) des CE et CM EBF sur les performances et la santé des animaux de rente (bovins, porcs et volailles), en particulier dans des intensités d'exposition inférieures à 100 µT. Une conclusion similaire est tirée pour le comportement des animaux modèles, principalement des rongeurs car le rapport précise que les effets mesurés chez ces animaux ne le sont que pour des intensités très largement supérieures à 100 µT.

Pour la littérature postérieure à 2014, une seule étude récente (Ruan et al., 2019) [25] a démontré chez des rats et des souris adultes que les champs magnétiques de 30, 100 et 500 µT (50 Hz) appliqués aux animaux durant plusieurs semaines (12 à 24 semaines) à raison de 20 heures par jour ne modifiaient pas leur fertilité et le développement des embryons chez les souris.

[11] Par situation contrôlée, on entend que la durée d'exposition aux CE et CM EBF et l'intensité des CE et CM EBF sont mesurées et réputées constantes durant la durée de l'expérience. Le dispositif expérimental permet aussi de minimiser les courants parasites au sein de l'animal, voire de les annuler complètement.

5.b.5 Effets biologiques des champs EBF chez les plantes

Par rapport aux animaux, les plantes ne peuvent échapper aux perturbations éventuelles de leur environnement, étant immobiles. Elles ont aussi une orientation constante par rapport aux CE et CM. Enfin, leur rapport surface/volume élevé induit une exposition de plus de cellules aux perturbations de l'environnement (Malkemper et al, 2018) [12].

De nombreux travaux en laboratoire ont démontré que les graines soumises à un CM EBF (16 à 60 Hz, 0,5 µT à 2.000 mT) durant un prétraitement (quelques secondes à plusieurs minutes) possédaient un meilleur taux de germination qui pouvait impacter la productivité ultérieure des plantes. Cet effet est cependant variable selon l'espèce végétale, voire la variété testée (Pietruszewski & Martínez, 2015) [26]. Cet effet est confirmé par la revue récente de la littérature de Radhakrishnan (2019) [27].

Teixeira da Silva et Dobránszki (2016) [28] montrent que les effets des CM EBF (50 Hz) sur la germination dépendent de la durée d'exposition ; globalement les courtes expositions (heures) ayant un effet positif contrairement aux longues expositions (jours) qui ont un effet le plus souvent négatif. Selon Pietruszewski & Martínez (2015) [26], les champs appliqués (0,5 µT à 2.000 mT) sont susceptibles de modifier les activités enzymatiques durant le processus de germination.

Une étude de terrain a été identifiée chez les plantes et montrait que les CE et CM générés par une ligne HT (380 kV) n'a pas d'effet sur la productivité du maïs mais bien sur celle du blé d'hiver, tous deux cultivés pendant plusieurs années à proximité des lignes HT en Autriche (Soja et al., 2003) [29]. Dans le cas du blé d'hiver, les plants éloignés (40 m) de la ligne produisent 7 % de grains de plus que ceux proches de la ligne (2 m) (moyenne de 5 années, distances de 2, 8, 12 et 40 m testées et les valeurs des champs étaient de 4,0, 2,3, 1,0, et 0,2 kV/m pour le CE et 3,0, 2,9, 2,1 et 0,6 µT pour le CM). Les auteurs démontrent par ailleurs que les différences de productions étaient les plus marquées lors des périodes de stress des cultures (*i.e.* année sèche *vs* humide), et affirment que globalement les différences liées à la distance par rapport aux CE et CM restent faibles par rapport aux différences induites par les variations annuelles de climat et par les caractéristiques du sol. Cette expérience a débuté 10 ans après l'installation de la ligne électrique aérienne, ce qui, aux dires des auteurs, limite les effets des perturbations du sol induites par les travaux d'installation. De plus des dispositions complémentaires avaient été prises pour limiter des variations de profil pédologique dans les parcelles expérimentales.

Suivant un dispositif similaire avec le palmier à huile en Malaisie, l'augmentation du champ magnétique (0,30 à 1,39 mT) et du champ électrique (0,14 et 60,9 10^{-2} kV/m) d'une ligne HT (275 kV 50 Hz) augmentait durant 7 ans l'activité peroxydase[12] et les pigments chlorophylliens dans la plante. Ces modifications sont considérées comme des témoins d'un stress induit par les CE et CM EBF au niveau de la plante, particulièrement à l'aplomb de la ligne (Mahmood et al., 2013) [30]. Aucune donnée sur la productivité de cette plante en fonction de la distance par rapport à la ligne n'a été fournie par cette étude. De plus, les valeurs des CM citées dans cet article[13] semblent très élevées par rapport aux valeurs usuelles pour une ligne HT de ce type.

Aksoy et al. (2010) [31] ont montré que l'index mitotique et les aberrations des chromosomes étaient augmentés dans des cellules racinaires de 2 plantes (oignon et épeautre) cultivées à des distances décroissantes (50, 25, 10 et 0 m) par rapport à une ligne HT (380 kV et 50 Hz). Les valeurs des CE et CM EBF étaient de 4,5 kV/m et 1 G[14], 3,5 kV/m et 0,8 G, 1 kV/m et 0,25 G, 0,4 kV/m et 0,1 G, à 0, 10,

[12] Les peroxydases ont des rôles multiples dont limiter le stress oxydatif au niveau cellulaire et participer à la synthèse de la paroi végétale.
[13] Ces valeurs sont citées dans l'article à l'aplomb de la ligne.
[14] G : Gauss, soit 1G vaut 0,1 mT ou 100µT.

25, 50 m respectivement. L'augmentation de l'index mitotique traduit un effet des CE et CM EBF sur la multiplication cellulaire tandis que les aberrations chromosomiques révèlent un effet génotoxique des CE et CM EBF. Selon ces auteurs, de tels effets doivent être considérés comme négatifs pour le fonctionnement cellulaire. A nouveau, aucune donnée sur la productivité de ces plantes en fonction de la distance par rapport à la ligne n'a été fournie par cette étude.

Les effets des CE et CM sur les plantes ont aussi été revus globalement par Dannehl (2018) [32] mais aucune information utile à ce projet n'a pu être extraite de cette revue, les champs EBF n'étant pas traités.

Aucune information pertinente pour ce travail n'a été identifiée dans l'étude Eklypse (Malkemper et al, 2018) [12]. Cette étude a été prolongée par une seconde publication (Goudeseune et al., 2018) [13] basée sur une WEB conférence. Le rapport produit les principaux enseignements de cette conférence. Parmi ceux-ci, nous retenons dans le cadre de cette étude que « le problème le plus récurrent dans les études scientifiques actuelles (dans tous les groupes taxonomiques) semblait être le manque de configurations techniques normalisées et contrôlées pour les expériences et la surveillance des niveaux et des fréquences d'exposition ».

5.b.6 Conclusions pour les effets directs chez les animaux et les plantes

Les champs électriques et magnétiques induits directement par les lignes à haute tension de 50 Hz à proximité des exploitations agricoles (*i.e.* moins de 200 m) ont été monitorés dans une étude française et ne dépassent pas à l'aplomb de la ligne les valeurs d'intensité de 8 µT pour le champ magnétique et 5.000 V/m pour le champ électrique selon la méthodologie classique de mesure. L'éloignement par rapport à la ligne diminue rapidement l'intensité des champs.

La valeur des CM était inférieure à 3 µT et des CE inférieure à 43 V/m dans les bâtiments fréquentés par les animaux dans les exploitations proches des lignes. Les mesures correspondantes dans les exploitations à l'écart des lignes (plus de 200 m) donnent des valeurs maximales de 0,19 µT pour le CM et de 14,5 V/m pour le CE.

Par ailleurs, des champs magnétiques pouvant atteindre 24 µT (40 Hz à 10 kHz) à proximité de la source (± 30 cm) sont induits dans les bâtiments par les appareils électriques nécessaires à son fonctionnement. Ces appareils sont susceptibles de fonctionner en continu ou par intermittence et à des distances variables selon la position des animaux dans le bâtiment.

Prenant en compte les champs potentiellement générés par les lignes, le rapport ANSES (2015) concluait à l'absence d'effet démontré sur la santé et les performances des animaux des exploitations soumis directement à ces champs.

Par rapport au rapport ANSES (2015) [11], la littérature scientifique reste partagée sur les effets ou les non effets des CM EBF de quelques µT sur le fonctionnement des animaux mais aucun mécanisme plausible d'action n'a pu être démontré.

Il n'a pas été possible d'identifier des travaux ultérieurs à 2014 qui étudient chez les animaux de ferme les effets directs des champs EBF sur le long terme en situations parfaitement contrôlées, ni les effets des champs magnétiques lorsqu'ils sont intermittents en fonction de la quantité de courant véhiculée par la ligne.

Deux études théoriques démontrent l'impossibilité d'un effet des CM EBF de quelques µT sur le fonctionnement cellulaire chez les animaux tenant compte des champs potentiellement induits et des connaissances biophysiques actuelles.

Chez les plantes, les CM EBF de quelques µT sont susceptibles de modifier des paramètres biologiques sans pour autant avoir toujours des effets démontrés sur la production végétale. Quelques études portent sur un terme long (*i.e.* la durée de la culture du végétal) et prennent très certainement en considération les intermittences des champs magnétiques. Une seule étude montrait que le rendement d'une des 2 plantes testées était négativement impacté (moins 7 % de production pour le blé d'hiver) par la proximité de la ligne.

5.c Santé, stress, bien-être et performances des animaux de production

5.c.1 Préambule

La **résistance électrique** varie considérablement entre les différentes espèces animales mais aussi entre individus d'une même espèce, en fonction de l'environnement particulier qui caractérise les bâtiments d'élevage (humidité, structures métalliques de la charpente, des cornadis, logettes, barrières, abreuvoirs, salle de traite, paillasses à béton, …). Ainsi, les publications consultées s'accordent généralement pour attribuer une résistance corporelle de 500 Ω pour les bovins (fourchette de 300 à 1.700 Ω selon le trajet emprunté par le courant), alors qu'elle est en moyenne 4 fois plus élevée chez le porc, 10 fois plus élevée chez le mouton et 100 à 2.000 fois plus élevée chez la volaille (Appleman et Gustafson, 1985).

Même si la perception d'un phénomène électrique témoigne de l'existence d'un dysfonctionnement électrique auquel il convient de remédier sans délai, cela ne signifie pas systématiquement perturbation de la santé et baisse de production. Nous nous focaliserons dans ce rapport sur l'espèce bovine[15] du fait de son plus faible seuil de perception des courants électriques par rapport aux autres animaux de production.

Jusqu'il y a peu, le seuil de perception des phénomènes électriques chez le bovin (espèce la plus sensible du fait de sa très faible résistance) mentionnait régulièrement un courant de 1 mA, ce qui correspond, compte tenu de sa résistance très faible au passage du courant, à une tension de 500 mV (Norell et coll., 1983) [40]. C'est une valeur beaucoup plus faible que celle publiée plus récemment suite à une méta-analyse, à savoir 3 mA (Erdreich et coll., 2009) [37]. Néanmoins, il convient de prêter attention à la surface du pied qui touche le sol en premier pour créer le contact (Hultgren, 1990) [39]. Ainsi, pour un courant de 1 mA entre la tête d'une vache et ses pieds antérieurs, il va en résulter une densité de courant de minimum 250 mA/m^2 dans les membres antérieurs en considérant une surface de contact effective avec le sol d'au moins 20 cm^2 par membre. Mais avec une surface de contact de 2 cm^2 ou moins, les valeurs obtenues peuvent dépasser 5.000 mA/m^2, c'est-à-dire le seuil décrit comme pouvant influencer les potentiels de membranes des cellules (Sheppard et Eisenbud, 1977) [44]. En effet, toutes les cellules vivantes ont un potentiel de membrane dû au déséquilibre ionique (K+ surtout à l'intérieur des cellules et Na+ surtout à l'extérieur des cellules) entretenu par les pompes à Na+/K+ qui n'arrêtent pas de fonctionner et qui nécessitent de l'énergie pour ce faire. Ce potentiel de membrane de repos tourne autour de 70 mV. Pour des cellules « excitables » comme les cellules nerveuses par exemple, le seuil pour leur stimulation est de 126 V/m. Modifier le potentiel de membrane d'une cellule peut perturber son fonctionnement.

Attention aussi que les conditions expérimentales ne reflètent pas toujours les conditions de terrain. Ainsi et pour exemples, un abcès de la sole, la muraille de l'onglon fendillée, un ulcère de la peau de l'extrémité digitée (Mortellaro), une érosion suintante de la peau des articulations peuvent encore faciliter un peu plus le passage du courant au travers du bovin (Appleman et Gustafson, 1985) [35].

[15] Les bovins viandeux sont tout aussi concernés que les bovins laitiers. Cependant, il se fait que ces derniers, par la force des choses (la traite deux fois par jour et leur veau qui n'est pas mis au pis de sa mère), sont plus dociles et faciles à manipuler que les bovins viandeux (la race viandeuse BBB, très commune chez nous, n'est en effet pas du tout représentative des races viandeuses à cet égard). Ce sont donc presque toujours des bovins laitiers qui sont utilisés dans les expérimentations publiées en rapport avec les champs électromagnétiques. Le cas échéant, il est aussi beaucoup plus facile de mettre en évidence un effet sur la production laitière – qui peut varier très rapidement – que sur la production de viande (Gain Quotidien Moyen, GQM).

Enfin, il convient de garder à l'esprit que ces valeurs publiées dans la littérature scientifique s'appliquent aux courants d'extrême basse fréquence (EBF à 50 – 60 Hz) censés être distribués aux consommateurs d'électricité, alors que ces courants EBF peuvent être pollués par d'autres fréquences, parfois très élevées.

Aux basses fréquences (50 Hz), les champs électriques et magnétiques restent indépendants. Pour les fréquences plus élevées (i.e. fréquences radio), les champs électriques et magnétiques sont indissociables.

5.c.2 Impact sur le bien-être, la santé et les performances des animaux de production

Les recherches étudiant l'impact des champs électromagnétiques (EM) générés par les LHT à EBF sur la santé et les performances zootechniques des animaux de production ne sont pas légion. Certaines études très rigoureuses en milieu expérimental contrôlé ne reflètent pas bien les conditions réelles rencontrées dans les élevages sur le terrain. Cela peut expliquer les résultats divergents qui peuvent être obtenus dans ces deux types d'études.

En effet, il faut bien distinguer les **effets directs** des champs EM sur les animaux eux-mêmes, ceux qui sont habituellement testés expérimentalement, des **effets indirects** qui peuvent résulter des **courants parasites** induits par ces champs EM sur les structures métalliques des exploitations (décharges électriques par contact des animaux avec ces structures métalliques). Ces courants parasites perturbent le comportement des animaux. Ils surviennent d'autant plus facilement que l'installation électrique des bâtiments est non conforme et/ou qu'elle a été modifiée/dégradée avec le temps. Une mise à la terre efficace des installations est le moyen le plus sûr d'annuler les effets de ces courants parasites. En élevage, une résistance de la prise de terre ≤ 18 Ω est souhaitée, ce qui est moindre que la valeur recommandée pour la prise de terre d'une habitation (30 Ω), les animaux et les bovins en particulier étant beaucoup plus sensibles aux courants parasites que les êtres humains (résistance d'un être humain chaussé de bottes 10.000 Ω *vs* celle d'un bovin 500 Ω).

Les courants parasites peuvent trouver des causes **externes** et/ou **internes** aux exploitations (ANSES, 2015). Les **sources externes** sont à rechercher dans les **courants vagabonds** (courants qui circulent dans le sol lorsque celui-ci est utilisé comme conducteur, par exemple lorsque le neutre des réseaux de distribution électrique est mis à la terre) et dans les champs EM qui entourent les lignes électriques et qui, par induction, génèrent de tels courants parasites dans les structures métalliques avoisinantes. Contrairement à l'induction magnétique (couplage inductif), l'induction électrique (couplage capacitif) est bloquée par les matériaux qui font écran aux champs électriques, comme les murs et la toiture d'une étable par exemple. Une dernière source externe de courants parasites est le **couplage de la prise de terre** de l'exploitation avec une autre toute proche, par exemple celle d'un transformateur électrique placé dans l'environnement immédiat.

Les **sources internes** à l'exploitation des courants parasites sont nombreuses et diversifiées :

- Les **courants de fuite** éventuels des divers appareils électriques (défaut de mise à la terre, absence de liaisons équipotentielles). Pour les vaches laitières, une liaison équipotentielle est satisfaisante lorsque la résistance entre 2 points ne dépasse pas 0,2 Ω.
- **L'effet de pile ou couplage électrochimique** : certains produits se comportent comme l'électrolyte d'une batterie (lisiers, aliments …) en présence de métaux.
- La **décharge électrostatique** suite à l'accumulation d'électricité sur certains matériaux isolants par frottements.
- Le **rayonnement** d'appareils électriques, surtout ceux utilisant des moteurs ou qui intègrent des composants électroniques comme les variateurs de vitesse des pompes (*i.e.* pompes à vide des robots ou salles de traite). Ils peuvent générer des courants parasites à haute

fréquence susceptibles de perturber l'alimentation électrique des autres appareils et, par rayonnement, sans contact direct, le fonctionnement d'appareils électroniques sensibles.

- Les **clôtures électriques** - impulsions brèves (< 10 msec), à une fréquence ≤ 1 Hz mais à une tension très élevée (de 10.000 à 15.000 V) - dont la borne positive est reliée à la clôture en périphérie des bâtiments et la borne négative à une prise de terre, différente mais proche de celle de l'exploitation, utilisée comme conducteur de retour.

Selon les experts qui vérifient les installations électriques, environ 80 % des problèmes de courants parasites trouvent leur origine dans la ferme. Néanmoins, lorsque l'installation électrique de l'exploitation est aux normes, la seule source de courants parasites est alors le conducteur neutre via ses liens avec la terre. Cela permet au courant de passer par les conduites d'eau métalliques, les systèmes de protection des points lumineux etc. Les autres 20 % des problèmes électriques résultent de problèmes de qualité (transitoires et harmoniques) du courant électrique fourni à l'exploitation. Lors de pollution du courant avec des courants de hautes fréquences, la résistance de la vache diminue et l'intensité du courant qui la traverse augmente. Le comportement des vaches est affecté aux fréquences < 1.000 Hz et elles n'ont pas besoin de toucher des pièces métalliques pour être affectées par les harmoniques. Leur production laitière diminue lorsque les transitoires et les harmoniques augmentent. Des valeurs aussi faibles que 8,1 mV de tension de crête à crête (et non pas la moyenne quadratique) sont alors ressenties par les vaches. L'auteur mentionne que l'isolation du neutre par un blindage réduit les harmoniques et le courant traversant les vaches, même si on peut en douter. Leur comportement, leur santé et leur production laitière s'améliorent quand le neutre primaire est isolé dans les exploitations à problèmes (Hillman et coll., 2013) [38].

L'examen par l'ANSES (2015) [34] de la littérature scientifique ne leur a **pas** permis de mettre en évidence **d'effets directs** des champs EM sur le comportement, les performances et la santé des animaux de production. Certaines études, comme celle de Burchard et Nguyen (1996) [36], démontrent même des effets positifs chez des vaches laitières en lactation soumises dans une cage métabolique en bois à un champ électrique vertical de 10 kV/m associé à un champ magnétique de 30 µT : augmentation de la matière sèche ingérée et de la production laitière.

L'ANSES (2015) [34] a fait mesurer les champs EM dans l'environnement des animaux d'élevage d'une trentaine de fermes situées ou non à proximité de LHT. Cela leur a permis de déterminer le niveau moyen des champs rencontrés dans ces élevages. Sous les LHT, entre 0,01 et 7,59 µT pour les champs magnétiques et entre 46 et 5.060 V/m pour les champs électriques. Ces champs générés par les LHT étaient de plus faible intensité à l'intérieur des bâtiments d'élevage : < 3 µT et 43 V/m, respectivement. En comparaison, les champs générés par les sources internes de ces bâtiments étaient plus importants.

Par contre, des **effets indirects (courants parasites**) sur les bovins sont mieux décrits même s'il n'est pas toujours simple de faire la part des choses entre santé et performances zootechniques qui sont en réalité intimement liées.

Dans leur article, Appleman et Gustafson (1985) [35] décrivent différentes réponses possibles des bovins aux courants parasites :

- Périodes intermittentes de baisse de production laitière.
- Production laitière insuffisante de façon inexpliquée. Cela peut être la conséquence d'une réduction de la sécrétion lactée, d'un comportement perturbé durant la traite et/ou d'une éjection du lait incomplète.
- Augmentation de l'incidence des mammites.
- Taux cellulaires élevés.
- Augmentation du temps de traite.

- Vidange incomplète des pis.
- Nervosité extrême dans la salle de traite.
- Aversion d'entrer dans la salle de traite.
- Sortie rapide de la salle de traite.
- Réticence à utiliser les abreuvoirs ou les mangeoires métalliques.
- Comportement de buvée modifié.

L'ANSES (2015) complète cette liste avec les symptômes suivants :
- Tremblements,
- Poils hérissés,
- Vaches qui « lapent » l'eau à l'abreuvoir.

L'ANSES mentionne également des taux élevés de cellules somatiques dans le lait, ce qui témoigne de la présence de mammites chroniques subcliniques. Ce sujet fait néanmoins polémique et est loin de faire l'unanimité (Reinemann, 2012) [42].

Il apparaît qu'un ensemble de chocs électriques irréguliers ou intermittents est plus susceptible de modifier le comportement normal des vaches et de diminuer leur production (Rigalma et coll., 2010) [43]. Les vaches exposées de façon permanente (prévisible) peuvent s'habituer, ce qui n'est pas le cas des vaches exposées de façon aléatoire, imprévisible, qui subissent un stress chronique modéré. Il est un fait que la réponse de stress est le plus souvent chronique et qu'il convient dès lors de distinguer les effets à long terme de l'exposition à ces courants parasites de ceux qui sont observés sur le court terme (Hultgren, 1990) [39].

Un article récent particulièrement intéressant et instructif est celui de Stetzer et collaborateurs (2016) [45] qui complètent ainsi la liste des symptômes observés, associant clairement troubles comportementaux, de production et de santé :
- Piétinement incessant,
- Battements de queue intempestifs,
- Jarrets gonflés,
- Lésions des onglons qui ne répondent pas aux traitements antibiotiques,
- Mammites,
- Chute soudaine et significative de la production laitière,
- Coups de pied donnés aux trayeurs,
- Éjection incomplète et inégale du lait lors de la traite,
- Avortements,
- Veaux mort-nés,
- Boiteries,
- Mortalité de plus d'un animal sur une courte période.

De plus, à partir de l'étude approfondie et détaillée d'un cas en particulier dans une exploitation laitière du Wisconsin, ces mêmes auteurs démontrent les principales idées fausses reprises dans les études antérieures :
1) La valeur standard de 1 V (moyenne quadratique) au contact de la vache est adéquate pour protéger les vaches laitières.
2) Les fréquences supérieures à 60 Hz ne nécessitent pas d'être prises en compte.
3) Toutes les sources de courants parasites trouvent leur origine dans la ferme qui connaît un problème avec de tels courants.

Ils y expliquent très bien comment établir un monitoring permanent des courants parasites dans une ferme laitière (tensions de pas), comment déterminer et remédier aux sources internes et externes

qui contribuent aux tensions de pas, quelles sont les mesures de tension de pas qui influencent le bien-être des vaches et leur production laitière ainsi que leur rapport avec les standards établis.

Vu que les vaches sont sensibles aux tensions de crête et pas à la moyenne quadratique de tension (Aneshansley et Gorewit, 1999) [33], ils préconisent d'utiliser un oscilloscope pour mesurer la tension plutôt qu'un voltmètre digital.

Ils ont ainsi pu identifier les sources de courants parasites suivantes avec les valeurs de tension de crête à crête correspondantes :

- Éclairage : 300 mV,
- Ventilateurs : 200 mV,
- Pompes : 30 mV,
- Système d'identification par radiofréquence (RFID) : 600 mV,
- Source externe à la ferme : > 500 mV (pas de façon continue mais bien intermittente).

Le spectre de fréquences enregistré indiquait des fréquences jusqu'à et probablement supérieures à 10 kHz (> 166^{e} harmonique de 60 Hz – car étude américaine). Or, une fréquence de 60 Hz à une tension de 1 V a la même énergie qu'une fréquence de 60 kHz à une tension de 1 mV. Aux fréquences élevées, la résistance de la vache est diminuée et au-dessus de 1,7 kHz, le courant peut entrer à l'intérieur du corps, pouvant y entraîner des lésions au niveau des organes internes comme il en est observé lors des autopsies (Reilly, 1992) [41].

L'amélioration observée par ces auteurs en termes de production laitière était de + 1,3 kg de lait/vache/jour lorsque l'éclairage était coupé dans la salle de traite (plus de lait et temps de traite plus court, moins de vaches qui « dansaient » dans la salle de traite) et de 0,8 kg supplémentaire après le bypass des ventilateurs de l'étable (les vaches passaient plus de temps couchées dans la stabulation libre, ce qui va de pair avec une meilleure production laitière). La qualité du lait n'a par contre pas été modifiée de façon appréciable.

Ils suggèrent ainsi que des tensions transitoires aussi faibles que 10 mV (crête à crête) peuvent influencer négativement la production laitière et la santé des vaches. En 2013, Hillman et collaborateurs arrivaient déjà à la même conclusion. Les auteurs recommandent également qu'un monitoring soit installé en continu pour déterminer les sources externes de courants parasites, vu que ceux-ci peuvent très bien n'être qu'intermittents. Ils dénoncent aussi le fait que, pour évacuer le courant en excès, la terre soit parfois utilisée comme un conducteur permanent supplémentaire dans le circuit de distribution en lieu et place de câbles électriques bien isolés. Il en résulte que des courants s'écoulent alors de façon incontrôlée à la surface de la terre (courants vagabonds). Cette situation est relativement fréquente aux États-Unis.

Néanmoins, il convient de considérer ici que les réseaux électriques sont différents en Belgique par rapport aux États-Unis. Le neutre des transformateurs étant relié à la terre en Belgique (réseau TT) tandis que le neutre et la terre sont confondus aux États-Unis afin de faire l'économie d'un câble (réseau TN-C).

5.c.3 Conclusion

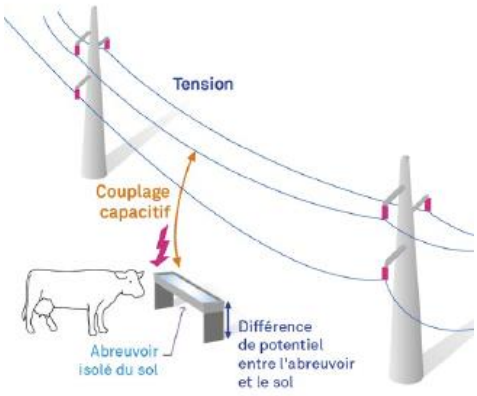
En conclusion, il convient de bien distinguer les **effets directs** d'une LHT sur la santé et les performances des animaux de production logés en étable des effets que cette ligne peut leur occasionner **indirectement**, en particulier lorsque l'installation électrique de l'exploitation n'est pas conforme bien qu'elle ne connaissait pas de problème particulier avant la mise en service de la ligne.

Concernant les **effets directs** délétères des champs EM générés par les LHT sur le comportement, les performances et la santé des animaux de production, aucune étude n'en démontre de façon probante. Au contraire, quelques-unes ont même établi des effets positifs chez des vaches laitières qui ont vu leur consommation de matière sèche et, partant, leur production laitière augmenter quelque peu.

Par contre, des **effets indirects** néfastes peuvent très bien se manifester suite à la présence de **courants vagabonds** induits sur les structures métalliques des exploitations mal raccordées à la terre, en commençant par des troubles du comportement, suivis par une baisse de leur production chez les vaches laitières, voire une dégradation progressive de leur état de santé pouvant mener à la mort dans les cas les plus extrêmes.

5.d Courants parasites en élevage

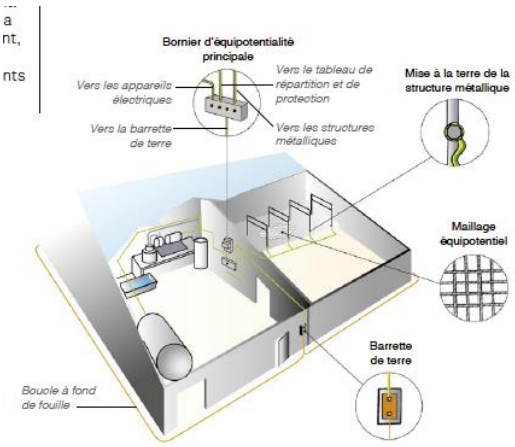
En France, le GPSE (Groupe Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole) a beaucoup travaillé sur la problématique et intervient régulièrement dans des dossiers et des questions du monde agricole français. Une première brochure avait été publiée en 2000 sur les risques liés aux courants parasites en élevage. Une mise à jour a été publiée en 2019[16] notamment pour tenir compte des évolutions dans les exploitations agricoles avec le développement des équipements électriques et électroniques, la robotisation, et l'augmentation du nombre de structures métalliques.



[GPSE]

Comme mentionné au paragraphe précédent, les champs électriques et magnétiques interagissent avec les structures métalliques à proximité (phénomènes d'induction). On peut considérer que cela est d'application dans les 50 premiers mètres. Évidemment pour une évaluation précise, il faut faire un calcul au cas par cas en fonction de la distance, du courant moyen, de la longueur de la structure métallique, de son orientation par rapport à l'axe de la ligne, ... Dans ce cas, il est essentiel de respecter les **règles pour une « bonne » installation électrique**.
Dans les exploitations agricoles, certains phénomènes peuvent avoir des impacts, comme les intempéries, l'humidité, les poussières, la corrosion, … tout ceci accélère le vieillissement et la dégradation des diverses structures métalliques (exemples : cornadis, abreuvoirs, clôtures) et diminue la qualité des mises à la terre, des mises en contact, ...
Il est donc essentiel d'assurer une bonne qualité des liaisons équipotentielles et de la liaison à la prise de terre des masses de l'exploitation, et de l'assurer dans le temps. Si des structures métalliques sont longues (plus de 10 m), des mises à la terre régulières sont nécessaires (tous les 10 m).

[16] Courants électriques parasites en élevage – Connaître et maîtriser, GPSE, 2019.

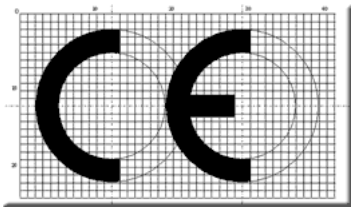


[GPSE]

5.e Perturbations technologiques

Au niveau réglementaire, en Europe, des directives européennes règlent les questions de sécurité électrique[17], de compatibilité électromagnétique[18] et de conformité des équipements radioélectriques[19]. Ces directives ont été transposées dans la législation belge.

Ces législations s'appliquent à **tous** les équipements électriques et électroniques, y compris ceux présents dans les exploitations agricoles. On peut citer de nombreux exemples comme les robots de traite, les distributeurs automatiques, les machines agricoles, … y compris ceux munis de systèmes radiofréquences comme les GPS, les RFID, …



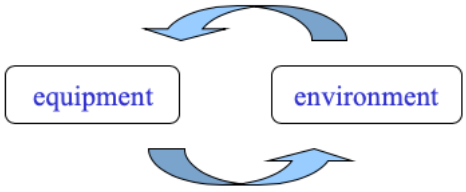
[Commission Européenne]

Plus particulièrement, la compatibilité électromagnétique s'intéresse aux fonctionnements des appareils électriques et électroniques dans leur environnement. En effet, un appareil électrique peut être perturbé par un champ électromagnétique émis par un autre équipement (émission), se situant dans l'environnement de celui-ci (immunité). Ces perturbations sont communément appelées interférences électromagnétiques.

[11] 2014/35/UE : Directive 2014/35/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché du matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension.

[18] 2014/30/UE : Directive 2014/30/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique.

[19] 2014/53/UE : Directive 2014/53/UE du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché d'équipements radioélectriques et abrogeant la directive 1999/5/CE.



[V. Beauvois, ACE - ULiège][20]

Les directives européennes font référence à des normes techniques (normes européennes harmonisées) pour démontrer la conformité. Dans le cas de la compatibilité électromagnétique, les normes harmonisées sont des normes produits ou familles de produits ou génériques (liées à l'environnement dans lequel l'équipement électronique fonctionne) qui font elles-mêmes références à des normes de base.

Parmi les normes de base qui concernent l'immunité, la norme internationale CEI[21] 61000-4-8 se rapporte aux champs magnétiques à la fréquence du réseau (50 Hz en Europe). La majorité[22] des normes de conformité produits font référence à cette norme de base.

La plupart des équipements électriques et électroniques ne sont pas sensibles aux champs magnétiques 50 Hz générés par des sources, comme des liaisons électriques aériennes à haute tension. Auparavant, on connaissait la sensibilité des écrans cathodiques d'ordinateurs et des téléviseurs à ces champs (ce qui n'est plus d'application pour les écrans « modernes ») ; maintenant, seuls les équipements comportant des circuits sensibles aux champs magnétiques basse fréquence sont concernés par ce type de perturbations (exemple : capteur inductif, capteur à effet hall inclus dans des équipements comme certains systèmes de pesage, des boucles inductives pour des parkings ou pour confiner une tondeuse autonome).

On peut ajouter qu'une réglementation existe également pour les systèmes radiofréquences (exemples : GSM, GPS, RFID, Bluetooth, Wi-Fi, …). Ils sont soumis aussi à des règles de performances (limitation par exemple de leur portée d'émission), de sécurité et de compatibilité électromagnétique, tout cela via la directive mentionnée ci-avant Directive 2014/53/UE et de nombreuses normes spécifiques régies par l'ETSI[23] au niveau européen.

Par conséquent, si les équipements électroniques au sens large utilisés dans les exploitations agricoles sont bien conformes à la législation en vigueur (en Europe, marquage CE et déclaration de conformité) et qu'ils sont installés et utilisés comme le requiert le fabricant (voir notices d'installation et d'utilisation), aucun problème de perturbation électromagnétique ne devrait être rencontré. On peut par exemple citer des règles d'installation comme la qualité et la régularité des mises à la terre, l'usage des types de câbles conseillés (*i.e.* blindage) avec les longueurs conseillées, …

[20] La flèche du haut correspond à l'**immunité** de l'équipement par rapport à son environnement, celle du bas à l'**émission** de perturbations électromagnétiques par l'équipement.
[21] Commission Électrotechnique Internationale.
[22] La norme internationale CISPR 14-2 (Compatibilité électromagnétique – Exigences relatives aux appareils électrodomestiques, outillages électriques et appareils analogues – Partie 2 : Immunité – Norme de famille de produits) ne mentionne pas la norme CEI 61000-4-8.
[23] European Telecommunications Standards Institute.

6. Réponses aux questions initiales

Suite à la réalisation de cette synthèse, chaque question est reprise et abordée individuellement. Une analyse spécifique est menée afin d'apporter une réponse aussi claire et concise que possible. Finalement, pour chacune d'elle, les éventuelles recommandations nécessaires ont été faites.

Préambule

Il est essentiel de comprendre que la réponse à ces questions et l'ensemble de cette étude considèrent la seule source de la ligne à haute tension, donc uniquement les effets directs et indirects en termes de champs électriques et magnétiques à 50 Hz.
L'étude ne porte pas sur les autres sources ou toute autre activité, présentes dans l'environnement complexe qu'est une exploitation agricole, dont les origines sont multiples et difficiles à isoler les unes des autres.

Question 1

Q1. L'exploitation d'une ligne aérienne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur la santé de l'agriculteur et/ou éleveur ?
Q2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?
Q3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?
Q4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

Analyse

Sur base de la synthèse 5a, des recherches scientifiques sont menées depuis plus de 40 ans sur les effets potentiels des champs électromagnétiques de basse fréquence sur la santé humaine. Nombreuses de ces études ont analysé le lien potentiel entre les champs électriques et magnétiques EBF (ici 50 Hz) et la santé. Elles ne permettent pas de conclure à un lien de cause à effet entre les champs et la santé, excepté pour des effets à court terme (quelques heures/jour) à niveau de champ élevé (> 1.000 µT), comme pour les magnétophosphènes.

Les normes et recommandations internationales fixées à un CM de 100-200 µT et à un CE de 5.000 V/m prennent en compte l'état des connaissances en cette matière.

En dehors de la leucémie infantile, où des recommandations nettement plus faibles, de 0,4 µT, sont citées dans la littérature basée exclusivement sur des études épidémiologiques (ce qui a induit une classification 2b par le CIRC), aucun autre effet étudié (tumeur du système nerveux central chez l'enfant, cancer du sein, tumeur du système nerveux central, maladie d'Alzheimer, maladie de Parkinson, …) dans la littérature ne permet de conclure à l'existence ou non d'un effet des champs.

Réponses

Q1. Selon la littérature consultée, la réponse à la question est non.

Q2. La littérature consultée ne permet de pas de répondre à cette question.

On parle souvent de l'effet de couronne comme un phénomène plus présent en condition humide autour des lignes aériennes (gouttes d'eau, flocons, …). Ce phénomène de bruit est dû à un phénomène de décharges électriques partielles autour des conducteurs des lignes aériennes. Ce phénomène augmente localement le champ électrique à proximité des lignes. Celui-ci n'a a priori aucun impact sur la santé.

Q3. En l'absence d'effet des champs directement induits par les lignes électriques aériennes sur la santé, cette question n'appelle pas de réponse.

Q4. On peut reprendre ici les recommandations de l'OMS :

- Le suivi de l'évolution scientifique
- La promotion des programmes de recherche afin de réduire l'incertitude qui entoure les éléments scientifiques concernant les effets sanitaires de l'exposition aux champs EBF.
- Une communication efficace et ouverte avec toutes les parties concernées afin de prendre des décisions en connaissance de cause (comme c'est le cas sur ce dossier).

Question 2

Q1. L'exploitation d'une ligne aérienne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur la santé, le stress et le bien-être animal ?
Q2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?
Q3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?
Q4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

Analyse pour les effets directs

S'il est globalement admis que les CM d'une intensité supérieure à 100 μT générés par les lignes électriques aériennes à haute tension ou très haute tension 50-60 Hz induisent des perturbations du fonctionnement cellulaire et animal, les effets sur la santé, le stress et le bien-être animal des CM de plus faibles intensités sont toujours discutés par la communauté scientifique particulièrement pour les valeurs inférieures à 10 μT. En outre, aucun mécanisme biologique plausible expliquant des effets induits par les champs de moins de 10 μT n'est proposé par la littérature consultée.

Les CE et CM EBF induits directement par les lignes à haute tension de 50 Hz à proximité des exploitations agricoles (*i.e.* moins de 200 m) ont été monitorés dans une seule étude française et ne dépassent pas à l'aplomb de la ligne les valeurs d'intensité de 8 μT pour le champ magnétique et 5000 V/m pour le champ électrique. L'éloignement par rapport à la ligne diminue rapidement l'intensité des champs. De plus, le CE directement induit est nettement réduit à l'intérieur des bâtiments selon ce monitoring (moins de 43 V/m) alors que l'intensité maximale du CM à l'intérieur des bâtiments reste inférieure à 3 μT.

L'exposition réelle des animaux aux CE et CM EBF générés par les lignes électriques aériennes à haute tension ou très haute tension 50-60 Hz est mal documentée, alors que ce paramètre reste crucial pour évaluer leurs effets sur les animaux. Une seule étude a réalisé un cadastre de l'exposition aux CM EBF sur des vaches dans des exploitations françaises à proximité des lignes aériennes de transport de l'électricité à haute et très haute tension, mais de manière fragmentaire (nombre d'animaux et durée des mesures). Les intensités maximales des CM EBF reçus par les animaux suivis sont compris entre 0,8 et 3 μT et en moyenne sur la journée, les animaux sont le plus souvent exposés à des CM EBF

compris entre 0 et 0,42 µT. Par rapport aux exploitations éloignées des lignes, la cadastre démontre que les intensités des CM EBF auxquelles sont exposées les vaches sont de 4 à 10 fois supérieures dans les exploitations à proximité des lignes.

Aucun cadastre n'a été établi pour les autres animaux potentiellement présents dans les exploitations agricoles.

Aucune donnée de la littérature consultée ne permet de conclure aux potentiels effets directs sur la santé, le stress et le bien-être des animaux -qu'ils soient dans le bâtiment ou à l'extérieur du bâtiment- par les CE EBF générés directement par les lignes électriques aériennes à haute tension ou très haute tension 50-60 Hz à proximité des exploitations agricoles.

Réponse pour les effets directs

Q1. Selon la littérature consultée, la réponse à la question est non.
Q2. La littérature consultée ne permet de pas de répondre à cette question. Cet aspect est en-dehors de nos compétences.
Q3. En l'absence d'effet des champs directement induits par les lignes électriques aériennes sur ces paramètres, cette question n'appelle pas de réponse.
Q4. Les effets directs des champs magnétiques sont majoritairement étudiés en situation parfaitement contrôlée. Les points faibles de la littérature scientifiques sont :

- Peu d'études sur les animaux de ferme, dont les volailles et les porcs. Par rapport aux bovins, ces animaux ont une résistance électrique supérieure les rendant moins sensibles aux effets des CM EBF.
- Induction de CM EBF sur des périodes courtes (quelques heures par jour *vs* quelques jours à quelques semaines). L'exposition dans ce cas est qualifiée d'aigüe par opposition à une exposition chronique qui porte sur une grande partie de la vie de l'animal.
- Les expériences consultées n'étudient jamais les effets des CM EBF susceptibles de varier dans le temps en fonction de la quantité de courant transitant dans la ligne électrique. Cette variation du champ est susceptible de pénaliser les mécanismes d'adaptation des animaux aux perturbations induites, si faibles soient-elles.

Recommandation pour les effets directs

Afin de lever les équivoques sur les potentiels effets des CM EBF sur la santé, le stress et le bien-être des animaux de ferme, nous recommandons de pratiquer un monitoring sur une durée longue (*i.e.* plusieurs mois) de l'intensité des CM EBF induits directement par les lignes électriques aériennes haute tension et très haute tension à proximité de ces lignes.

- Pratiquer un monitoring des champs produits par les lignes à haute tension à proximité (*i.e.* moins de 200 m) des exploitations agricoles et des prairies exploitées par les animaux. Ce monitoring doit s'envisager sur un terme long (*i.e.* plusieurs mois) pour bien identifier les variations temporelles et spatiales selon les distances par rapport à la ligne ainsi que les valeurs maximales des champs magnétiques en fonction de l'exploitation des lignes. Ce travail permettra de bien définir l'exposition potentielle des animaux aux CE et CM EBF générés directement par les lignes afin de confronter ces résultats aux effets biologiques attendus mis en évidence par les expérimentations en situation contrôlée.
- Il serait aussi pertinent de pouvoir mesurer les CE et CM EBF générés par les lignes électriques aériennes haute tension et très haute tension dans les bâtiments dans lesquels séjournent les animaux et ce indépendamment des champs créés par le réseau électrique et le matériel électrique de l'exploitation agricole.

- Ce monitoring doit aussi être complété par un monitoring des animaux, pour définir leur exposition réelle aux CM en fonction de la source des champs et de leurs mouvements dans et à l'extérieur des bâtiments, sachant que leurs mouvements sont susceptibles de moduler dans le temps l'intensité des CE et CM EBF les impactant.

Question 3

Q1. L'exploitation d'une ligne aérienne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur les performances zootechniques ?
Q2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?
Q3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?
Q4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

Analyse des effets directs

La littérature scientifique antérieure à 2015 ne démontre pas des effets directs négatifs des CE et CM EBF générés par les lignes électriques aériennes à haute tension ou très haute tension 50-60 Hz sur les performances zootechniques des animaux de ferme.

A la connaissance des auteurs, aucune étude scientifique postérieure à 2015 n'a étudié les effets directs des CE et CM EBF induits par les lignes électriques aériennes à haute tension ou très haute tension 50-60 Hz sur les performances zootechniques des animaux de ferme.

Réponse des effets directs

Q1. Selon la littérature consultée, la réponse à la question est non.
Q2. La littérature consultée ne permet de pas de répondre à cette question. Cet aspect est en-dehors de nos compétences.
Q3. En l'absence d'effet des champs directement induits par les lignes électriques aériennes sur ces paramètres, cette question n'appelle pas de réponse.
Q4. Les effets directs des CE et CM EBF sont majoritairement étudiés en situation parfaitement contrôlée. Les points faibles de la littérature scientifique sont :

- Peu d'études sur les animaux de ferme en situation contrôlée.
- Induction de CM EBF sur des périodes courtes (quelques heures par jour *vs* quelques jours à quelques semaines). L'exposition dans ce cas est qualifiée d'aigüe par opposition à une exposition chronique qui porte sur une grande partie de la vie de l'animal.
- Les expériences consultées n'étudient jamais les effets des CM EBF susceptibles de varier dans le temps en fonction de la quantité de courant transitant dans la ligne électrique. Cette variation du champ est susceptible de pénaliser les mécanismes d'adaptation des animaux aux perturbations induites, si faibles soient-elles.

La réponse est également non pour les effets indirects des CM à l'étable si et seulement si l'installation électrique des bâtiments est totalement conforme, de manière à pouvoir annuler les effets des courants parasites induits par ces CM sur les différentes structures métalliques que l'on peut y retrouver : charpentes, cornadis, salle de traite, conduites d'eau, abreuvoirs, mangeoires, clôtures électriques etc. Concrètement, cela signifie :

- Mise à la terre efficace des installations.
- Résistance de la prise de terre ≤ 18 Ω.
- Liaisons équipotentielles ≤ 0,2 Ω.

Par contre, la réponse est oui pour les effets indirects des CM à l'étable si l'installation électrique est non conforme ou si elle a été modifiée ou dégradée avec le temps.

La réponse est aussi oui si le fonctionnement de la LHT génère des courants vagabonds qui entrent dans l'exploitation par sa ligne de terre ou si le courant fourni à l'exploitation est pollué par des courants de hautes fréquences (transitoires et harmoniques), de diverses provenances potentielles : industries raccordées à la LHT après transformation du courant, fibres optiques enroulées autour des câbles de la LHT, antennes relais de téléphonie mobile (4G et/ou 5G) placées sur les pylônes de la LHT ou dans son environnement proche… Les bandes de fréquence prévues pour la 5G se situeront entre 700 MHz et 26 GHz alors que, pour la 4G, elles sont entre 700 et 2.600 MHz.

Les symptômes suivants pourraient alors être observés qui devraient être considérés comme autant de signaux d'alerte potentiels :

- Modifications du comportement : augmentation du temps de traite, vidange incomplète des pis, nervosité extrême dans la salle de traite, aversion pour entrer dans la salle de traite, sortie rapide de la salle de traite, réticence à utiliser les abreuvoirs ou les mangeoires métalliques, comportement de buvée modifié (vaches qui lapent l'eau dans l'abreuvoir), piétinement incessant, battements de queue intempestifs, coups de pied donnés aux trayeurs.
- Performances de production : périodes intermittentes de baisse de production laitière, production laitière insuffisante de façon inexpliquée, chute soudaine et significative de la production laitière.
- Troubles de la santé : tremblements, poils hérissés, augmentation de l'incidence des mammites cliniques, taux cellulaires élevés (mammites subcliniques), jarrets gonflés, lésions des onglons qui ne répondent pas aux traitements antibiotiques, avortements, veaux mort-nés, boiteries, mortalité de plus d'un animal sur une courte période.

Recommandation pour les effets directs

Afin de lever les équivoques sur les potentiels effets des CM EBF sur les performances zootechniques des animaux de ferme, nous recommandons de pratiquer un monitoring sur une durée longue (*i.e.* plusieurs mois) de l'intensité des CM EBF induits directement par les lignes électriques aériennes haute tension et très haute tension à proximité de ces lignes.

- Pratiquer un monitoring des champs produits par les lignes à haute tension à proximité (*i.e.* moins de 200 m) des exploitations agricoles et des prairies exploitées par les animaux. Ce monitoring doit s'envisager sur un terme long (*i.e.* plusieurs mois) pour bien identifier les variations temporelles et spatiales selon les distances par rapport à la ligne ainsi que les valeurs maximales des champs magnétiques en fonction de l'exploitation des lignes. Ce travail permettra de bien définir l'exposition potentielle des animaux aux CE et CM EBF générés directement par les lignes afin de confronter ces résultats aux effets biologiques attendus mis en évidence par les expérimentations en situation contrôlée.
- Il serait aussi pertinent de pouvoir mesurer les CE et CM EBF générés par les lignes électriques aériennes haute tension et très haute tension dans les bâtiments dans lesquels séjournent les animaux et ce indépendamment des champs créés par le réseau électrique et le matériel électrique de l'exploitation agricole.
- Ce monitoring doit aussi être complété par un monitoring des animaux, pour définir leur exposition réelle aux CM en fonction de la source des champs et de leurs mouvements dans et à l'extérieur des bâtiments, sachant que leurs mouvements sont susceptibles de moduler dans le temps l'intensité des CE et CM EBF les impactant.

Afin d'éviter toute polémique dans les cas où de tels problèmes, absents jusque-là, surviendraient dans des exploitations, que celles-ci disposent d'une installation électrique conforme ou pas, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

1) Réalisation d'un audit, avant la construction de la LHT, reprenant la situation sanitaire, le comportement des animaux et leurs performances zootechniques dans toutes les exploitations situées à moins de 250 mètres de part et d'autre de l'axe de la LHT.
2) Proposer à ces exploitations un diagnostic électrique préalable, de préférence par temps humide, concernant l'ensemble des bâtiments de ferme ainsi que la maison d'habitation.
3) Le cas échéant, mettre aux normes l'installation électrique de ces exploitations.
4) Sélectionner parmi celles-ci une exploitation complètement raccordée à la terre comme ferme témoin.
4) Pour ces mêmes exploitations, répéter, à la fin de la première année d'exploitation de la LHT, l'audit comportemental, sanitaire et zootechnique, de même que le diagnostic électrique.
5) Dans la ferme témoin, réaliser un monitoring en continu de l'exposition des animaux aux CEM intérieurs et extérieurs, des tensions de pas et de contact, au moins dans la stabulation et la salle de traite. Pour mesurer les tensions, un oscilloscope est à utiliser plutôt qu'un voltmètre digital afin de déterminer la tension de crête (plus significative que la tension moyenne). Il convient aussi d'y mesurer les harmoniques (oscilloscope et analyseur numérique). Cette dernière recommandation serait assez originale et permettrait de s'assurer de la qualité du courant fourni.

Question 4

Q1. L'exploitation d'une ligne aérienne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur la quantité et la qualité des productions et végétales ?
Q2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?
Q3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?
Q4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

Analyse pour les effets directs

Chez les plantes, les CM EBF de quelques µT sont susceptibles de modifier des paramètres biologiques sans pour autant avoir des effets démontrés sur la production végétale pour ces aspects quantitatifs. Quelques études de terrain portent sur un terme long (*i.e.* la durée de la culture du végétal) et prennent très certainement en considération les intermittences des CM EBF en fonction de la quantité de courant transitant dans la ligne électrique.
Une étude sur 5 années montrait que le rendement d'une des 2 plantes testées était négativement impacté (moins 7 % de production pour le blé d'hiver) à proximité de la ligne (à 2 mètres de la ligne versus 8, 12 et 40 m). A 2 m de la ligne, les intensités des champs étaient de 4 kV/m pour le CE et 3 µT pour le CM.
Les aspects qualitatifs des productions végétales n'ont jamais fait l'objet d'expérimentation à notre connaissance.

Réponse pour les effets directs

Q1. Selon la littérature consultée, la réponse à la question est non.
Q2. La littérature consultée ne permet pas de répondre à cette question. Cet aspect est en-dehors de nos compétences.
Q3. En l'absence d'effet des champs directement induits par les lignes électriques aériennes sur la quantité et la qualité des productions et végétales, cette question n'appelle pas de réponse.
Q4. Seules 2 plantes de grandes cultures (*i.e.* le maïs et le blé) ont fait l'objet d'une expérimentation en milieu semi-contrôlé et le rendement d'une des 2 plantes est impacté négativement (moins 7 % pour le blé) à une distance de 2 m par rapport à la ligne. D'autres plantes de grande culture devraient faire l'objet de ce type d'expérimentation.

Recommandation pour les effets directs

Le monitoring proposé dans le cadre des effets sur les animaux permettra d'objectiver les intensités des CE et CM EBF en fonction de la distance par rapport à la ligne et leur variation temporelle en fonction de la quantité de courant transitant dans la ligne électrique.

Des essais en champs de plantes de grande culture devraient être conduits afin d'étudier les effets des CE et CM EBF induits par les lignes aériennes à haute tension sur les rendements des cultures et la qualité des produits issus de ces cultures. Il faut garder cependant à l'esprit que tous les autres facteurs, dont les conditions pédologiques et les autres perturbations électromagnétiques, pouvant influencer les paramètres de réponse doivent être parfaitement maîtrisés. Ce type d'étude doit par ailleurs être répété sur plusieurs années pour minimiser l'effet de l'année sur les paramètres étudiés.

Question 5

Q1. L'exploitation d'une ligne aérienne à haute tension (380 kV, capacité de 6 GW) peut-elle avoir un impact sur l'utilisation d'instruments présents dans les exploitations (GPS, drones, tracteurs, robots de traites, abreuvoirs, instruments mécaniques ou électroniques, etc.) ?
Q2. Les conditions climatiques et/ou météorologiques peuvent-elles influencer ces impacts ? Si oui, avec quelles conséquences ?
Q3. Pour les effets mis en évidence, quelles sont les mesures permettant d'éviter ou de réduire ces effets et leurs conséquences ?
Q4. La littérature scientifique permet-elle d'apporter des réponses claires à ces questions ? Si non, que conviendrait-il de mettre en place ?

Analyse

Sur base du paragraphes 5.e, si les équipements électroniques au sens large utilisés dans les exploitations agricoles sont bien conformes à la législation en vigueur (en Europe, marquage CE et déclaration de conformité) et qu'ils sont installés et utilisés comme le requiert le fabricant (voir notices d'installation et d'utilisation), aucun problème de perturbation électromagnétique ne devrait être rencontré. On peut par exemple citer des règles d'installation comme la qualité et la régularité des mises à la terre, l'usage des types de câbles conseillés (*i.e.* blindage) avec les longueurs conseillées, … Nous avons également insisté sur les règles pour une « bonne » installation électrique au paragraphe 5.d.

Réponse

Q1. Selon la législation consultée et si les règles énoncées ci-dessus sont respectées, la réponse à la question est non.
Q2. La littérature consultée ne permet pas de répondre à cette question.
Il est essentiel que la mise en conformité des installations électriques soit pérenne dans le temps et/ou contrôlée périodiquement.
En effet, dans les exploitations agricoles, certains phénomènes peuvent avoir des impacts, comme les intempéries, l'humidité, les poussières, la corrosion, … tout ceci accélère le vieillissement et la dégradation des diverses structures métalliques (exemples : cornadis, abreuvoirs, clôtures) et diminue la qualité des mises à la terre, des contacts, des raccordements, ...
Q3. Il est essentiel d'avoir :

- Des installations électriques conformes ou une mise en conformité des installations électriques.
- Si des structures métalliques sont longues (plus de 10 m), des mises à la terre régulières sont nécessaires (tous les 10 m).
- Du matériel conforme à la législation européenne.

Q4. Il y a peu ou pas de littérature spécifique sur le sujet, à notre connaissance.

7. Références et bibliographie

7.1 Références et bibliographie – Partie 5.a

1. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.

2. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010.

3. Recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz), publiée au Journal Officiel des Communautés Européennes du 30 juillet 1999 (1999/519/CE).

4. OMS - Aide-mémoire N° 322 daté de Juin 2007 - Champs électromagnétiques et santé publique - Exposition aux champs de fréquence extrêmement basse.

5. OMS - Extremely low frequency fields. Critères d'hygiène de l'environnement, Vol. 238. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2007.

6. Report on risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised version), European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2012).

7. Report on risk analysis of human exposure to electromagnetic fields, European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2010).

8. Report on the analysis of risks associated to exposure of EMF: in vitro and in vivo (animals) studies, European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2010).

9. Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), European Commission – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR, 2015).

10. ANSES, Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences, Avis de l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire - Alimentation, Environnement, Travail), Rapport d'expertise collective, 2019.

7.2 Références et bibliographie – Partie 5.b

11. ANSES, 2015. Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Août 2015, 169 p. Disponible à https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2013sa0037Ra.pdf

12. MALKEMPER E. P., TSCHEULIN Th., VANBERGEN A. J., VIAN A., BALIAN E., GOUDESEUNE L., 2018. The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Current knowledge overview: a background document to the web conference. A report of the EKLIPSE project, 32 p. Disponible à http://www.eklipse-mechanism.eu/documents/15803/0/EMR-KnowledgeOverviewReport_FINAL_27042018.pdf/1326791c-f39f-453c-8115-0d1c9d0ec942

13. GOUDESEUNE L., BALIAN E., VENTOCILLA J., 2018. The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Report of the web conference. A report of the EKLIPSE project; 32 p. Disponible à http://www.eklipse-mechanism.eu/documents/15803/0/EMR-KnowledgeOverviewReport_FINAL_27042018.pdf/1326791c-f39f-453c-8115-0d1c9d0ec94

14. Biasotto, L.D., Kindel, A., 2018. Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. Environmental Impact Assessment Review, 71, pp. 110-119. Cited 5 times.

15. Adair, R., 2000. Static and low-frequency magnetic field effects: Health risks and therapies. Reports on Progress in Physics, 63, 415–454. Cited 34 times.

16. Belova, N.A., Ermakova, O.N., Ermakov, A.M., Rojdestvenskaya, Z.Ye., Lednev, V.V., 2007. The bioeffects of extremely weak power-frequency alternating magnetic fields. Environmentalist, 27 (4), pp. 411-416. Cited 29 times.

17. Belova, N.A., Acosta-Avalos, D., 2015 The effect of extremely low frequency alternating magnetic field on the behavior of animals in the presence of the geomagnetic field. Journal of Biophysics, art. no. 423838. Cited 2 times.

18. Wang, H., Zhang, X., 2017. Magnetic fields and reactive oxygen species. International Journal of Molecular Sciences, 18 (10), art. no. 2175. Cited 37 times.

19. Lai, H., 2019. Exposure to Static and Extremely-Low Frequency Electromagnetic Fields and Cellular Free Radicals. Electromagnetic Biology and Medicine, 38 (4), pp. 231-248. Cited 0 time.

20. Hore P.J., 2019. Upper bound on the biological effects of 50/60 Hz magnetic fields mediated by radical pairs. eLife, 8:e44179. Cited 0 time.

21. Vanderstraeten J., 2017. Champs magnétiques et santé : de l'épidémiologie à la chimie des cryptochromes. Rev. Med. Brux., 38, 79-89. Cited 3 times.

22. Lundberg, L., Sienkiewicz, Z., Anthony, D.C., Broom, K.A., 2019. Effects of 50 Hz magnetic fields on circadian rhythm control in mice. Bioelectromagnetics, 40 (4), pp. 250-259. Cited 0 time.

23. Kolbabová, T., Malkemper, E.P., Bartoš, L., Vanderstraeten, J., Turčáni, M., Burda, H., 2015. Effect of exposure to extremely low frequency magnetic fields on melatonin levels in calves is seasonally dependent. Scientific Reports, 5, art. no. 14206. Cited 3 times.

24. Laszlo, A.M., Ladanyi, M., Boda, K., Csicsman, J., Bari, F., Serester, A., Molnar, Z., Sepp, K., Galfi, M., Radacs, M., 2018. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on turkeys. Poultry Science, 97 (2), pp. 634-642. Cited 1 time.

25. Ruan, G., Liu, X., Zhang, Y., Wan, B., Zhang, J., Lai, J., He, M., Chen, C., 2019. Power-frequency magnetic fields at 50 Hz do not affect fertility and development in rats and mice. Electromagnetic Biology and Medicine, 38 (1), pp. 111-122. Cited 2 times.

26. Pietruszewski, S., Martínez, E., 2015. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review. International Agrophysics, 29 (3), pp. 377-389. Cited 17 times.

27. Radhakrishnan, R., 2019. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. Physiology and Molecular Biology of Plants, 25 (5), pp. 1107-1119. Cited 0 time.

28. Teixeira da Silva, J.A., Dobránszki, J., 2016. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? Protoplasma, 253 (2), pp. 231-248. Cited 26 times.

29. Soja, G., Kunsch, B., Gerzabek, M., Reichenauer, T., Soja, A.-M., Rippar, G., Bolhàr-Nordenkampf, H.R., 2003. Growth and Yield of Winter Wheat (Triticum aestivum L.) and Corn (Zea mays L.) Near a High Voltage Transmission Line. Bioelectromagnetics, 24 (2), pp. 91-102. Cited 22 times.

30. Mahmood, M., Bee, O.B., Mohamed, M.T.M., Subramaniam, S., 2013. Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll content and peroxidase enzyme activity in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) leaves. Emirates Journal of Food and Agriculture, 25 (6), pp. 471-482. Cited 3 times.

31. Aksoy, H., Unal, F., Ozcan, S., 2010. Genotoxic effects of electromagnetic fields from high voltage power lines on some plants. International Journal of Environmental Research, 4 (4), pp. 595-606. Cited 10 times.

32. Dannehl, D., 2018. Effects of electricity on plant responses. Scientia Horticulturae, 234, pp. 382-392. Cited 3 times.

7.3 Références et bibliographie – Partie 5.c

33. Aneshansley D.J., Gorewit R.C. Sensitivity of Holsteins to 60 Hz and other waveforms present on dairy farms. 1999, ASAE/CSAE-SCGR International Meeting, paper N° 993152, 2950 Niles Rd., St Joseph, MI, USA.

34. ANSES (collectif). Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques. Août 2015.

35. Appleman R.D., Gustafson R.J. Source of stray voltage and effect on cow health and performance. J. Dai. Sci., 1985, 68 : 1554-1567.

36. Burchard J.F., Nguyen D.H. Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows. J. Dai. Sci., 1996, 79 : 1549-1554.

37. Erdreich L.S., Alexander D.D., Wagner M.E., Reinemann D. Meta-analysis of stray voltage on dairy cattle. J. Dai. Sci., 2009, 92 : 5951-5963.
38. Hillman D., Stetzer D., Graham M., Goeke C.L., Mathson K.E., VanHorn H.H., Wilcox C.J. Relationship of electric power quality to milk production of dairy herds – Field study with literature review. Science of the Total Environment, 2013, 447 : 500-514.

39. Hultgren J. Small electric currents affecting farm animals and man: a review with special reference to stray voltage. II. Physiological effects and the concept of stress. Vet. Com., 1990, 14 : 299-308.

40. Norell R.J., Gustafson R.J., Appleman R.D., Overmier J.B. Behavioral studies of dairy cattle sensitivity to electrical currents. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 1983, 26 : 1506-1511.

41. Reilly J.P. Electrical stimulation and electropathology. 1992, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 524.

42. Reinemann D.J. Stray voltage and milk quality. A review. Vet. Clin. North Am., Food Anim., 2012, 28 : 321-345.

43. Rigalma K., Duvaux-Ponter C., Oliveira A., Martin O., Louyot T., Deschamps F., Roussel S. Determination of a stray voltage threshold in Holstein heifers, influence of predictability and past experience on behavioural and physiological responses. Animal Welfare, 2011, 20 : 385-395.

44. Sheppard A.R., Eisenbud M. Biological effects of electric and magnetic fields of extremely low frequency. 1977, New York University Press, New York.

45. Stetzer D., Leavitt A.M., Goeke C.L., Havas M. Monitoring and remediation of on-farm and off-farm ground current measured as step potential on a Wisconsin dairy farm: a case study. Electromagnetic Biology and Medicine, 2016, 35 : 321-336.

Remarque : certaines références sont reprises directement en notes de bas de page dans le corps du document.

Sites internet

BBEMG (Belgian BioElectroMagnetics Group) - https://www.bbemg.uliege.be

OMS (Organisation Mondiale de la Santé) - http://www.who.int/fr/ et plus particulièrement http://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/fr/

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) - http://www.icnirp.de/

CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) - http://www.iarc.fr/indexfr.php

GPSE (Groupement Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole) – www.gpse.fr

Glossaire

ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
CE	Champ Électrique
CIRC	Centre international de Recherche sur le Cancer
CM	Champ Magnétique
EBF	Extrêmement Basse Fréquence
EFHRAN	European Health Risk of Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure
ELF	Extremely Low Frequency
FWA	Fédération Wallonne de l'Agriculture
GPSE[24]	Groupe Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers

[24] Courants électriques parasites en élevage – Connaître et maîtriser, GPSE, 2019.

LHT	Ligne à Haute Tension
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
SCENHIR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

Rapport

Effecten die mogelijk gegenereerd worden door de exploitatie van een bovengrondse hoogspanningslijn op de landbouwbedrijven in de buurt

Opdrachtgevers: ELIA-FWA

Auteurs: Véronique Beauvois, Yves Beckers, Frédéric Rollin
ULiège

Datum: 13/07/2020

Dit rapport mag niet gereproduceerd worden, tenzij in zijn geheel, zonder de schriftelijke toelating
van de auteurs ervan van de Universiteit van Luik.

Inhoudstafel

1. Inleiding 4
2. Context 5
3. Opfrissing: elektrische en magnetische velden 6

Enkele fysische beginselen 6

De verschijnselen van elektrische en magnetische koppeling 10

Magnetische (of inductieve) koppeling 10

Elektrische (of capacitieve) koppeling 10

4. Methodologie 11
5. Volledige bibliografische synthese 12

5.a Menselijke gezondheid - Mogelijke effecten van magnetische ELF-velden op mensen 12

5.a.1 Aangetoonde effecten 12

5.a.2 Mogelijke effecten 13

5.a.3 Soorten studies over de biologische effecten 13

5.a.4 Aanbevelingen en reglementeringen voor blootstellingen aan lage frequenties 14

5.a.4.1 Internationaal niveau 14

5.a.4.2 Belgisch federaal niveau 15

5.a.4.3 Belgisch regionaal niveau 16

5.a.4.3.a In het Vlaams Gewest 16

5.a.4.3.b In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest 16

5.a.4.3.c In het Waals Gewest 16

5.a.5 Overzicht van de wetenschappelijke literatuur 18

5.a.5.1 Standpunt van de WGO (Wereldgezondheidsorganisatie) 18

5.a.5.2 Europese studies 19

5.a.5.3 Advies van het ANSES (Frankrijk) 19

5.a.5.4 Specifieke studies over kinderleukemie 20

5.b Directe effecten van magnetische en elektrische velden die opgewekt worden door bovengrondse hoogspanningslijnen op dieren en planten 22

5.B.1 Voorwoord 22

5.b.2 Intensiteit van elektrische en magnetische velden in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitsverbindingen met hoogspanning en zeer hoge spanning en in landbouwbedrijven 23

5.b.3 Effecten van de ELF EV's en MV's op de dieren 24

5.B.3.1 Biologische effecten op model- en voedselproducerende dieren 24

5.b.3.1.a Oxidatieve stress 25

5.b.3.1.b De cryptochromen 26

5.b.3.1.c Synthese van melatonine 26

5.b.3.1.d Fysiologische stress 27

5.b.4 Effecten op de zoötechnische prestaties en gezondheidsimpact van dieren 28

5.b.5 Biologische effecten van ELF-velden bij planten 30
5.b.6 Conclusies voor de directe effecten bij dieren en planten 31
5.c Gezondheid, stress, welzijn en prestaties van productiedieren 33
5.c.1 Voorwoord 33
5.c.2 Impact op het welzijn, de gezondheid en de prestaties van productiedieren 34
5.c.3 Conclusie 38
5.d Parasietstromen in fokkerijen 38
5.e Technologische storingen 39
6. Antwoorden op de initiële vragen 42
Voorwoord 42
Vraag 1 42
Analyse 42
Antwoorden 42
Vraag 2 43
Analyse voor de directe effecten 43
Antwoord voor de directe effecten 44
Aanbeveling voor de directe effecten 44
Vraag 3 46
Analyse van de directe effecten 46
Antwoord voor de directe effecten 46
Aanbeveling voor de directe effecten 47
Vraag 4 49
Analyse voor de directe effecten 49
Antwoord voor de directe effecten 49
Aanbeveling voor de directe effecten 49
Vraag 5 51
Analyse 51
Antwoord 51
7. Referenties en bibliografie 52
7.1 Referenties en bibliografie - Deel 5.a 52
7.2 Referenties en bibliografie - Deel 5.b 52
7.3 Referenties en bibliografie - Deel 5.c 54
- Websites 55
Glossarium 55

1. Inleiding

Op verzoek van de Waalse Federatie van Landbouw (FWA) en van Elia (Beheerder van het elektriciteitstransmissienet in België) is onderhavig rapport een bibliografische samenvatting van de gegevens die beschikbaar zijn in de bestudeerde wetenschappelijke literatuur.

Deze samenvatting heeft betrekking op de effecten die mogelijk gegenereerd worden door de exploitatie van een bovengrondse hoogspanningslijn (wisselstroom, spanning van 380 kV, nominaal vermogen van 6 GW) op de landbouwexploitaties die zich in de nabijheid bevinden.

Concreet beschouwd heeft de analyse tot doel de volgende vragen zo duidelijk mogelijk te beantwoorden:

1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op:
    - de gezondheid van de landbouwer en/of kweker?
    - de gezondheid van dieren, de stress en het dierwelzijn?
    - de zoötechnische prestaties?
    - de hoeveelheid en de kwaliteit van de dierlijke en plantaardige producties?
    - het gebruik van elektronische apparatuur die aanwezig is in de exploitaties (gps, drones, tractoren, melkrobots, drenkplaatsen enz.)?

2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden?
   Zo ja, met welke gevolgen?

3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?

4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

2. Context

Elektrische en magnetische velden zijn alomtegenwoordig in onze dagelijkse omgeving. Radio, televisie, huishoudtoestellen, medische toestellen, mobiele telefoons, draadloze communicatiemiddelen, internet der dingen, ... maken deel uit van ons leven.

Een steeds terugkerende bezorgdheid van de bevolking heeft betrekking op de elektrische installaties en in het bijzonder de bovengrondse leidingen, gewoonlijk hoogspanningslijnen (HSL) genoemd, die elektrische en magnetische velden van 50 Hz produceren. Het zijn deze velden die men extreem laagfrequente velden (ELF) noemt (Extrêmement Basse Fréquence – EBF of Extremely Low Frequency - ELF).

De afgelopen 40 jaar zijn hierover wetenschappelijke onderzoeken gevoerd. Vele ervan hebben de potentiële link geanalyseerd tussen de elektrische en magnetische ELF-velden (hier 50 Hz) en de gezondheid. Ze laten niet toe te besluiten dat er een oorzakelijk verband bestaat tussen de velden en de gezondheid, behalve voor de kortetermijngevolgen bij hoge veldsterkte, zoals voor de magnetofosfenen (zie pagina 13).

Er bestaat een minder groot aantal studies over de eventuele impact van deze velden op de zoötechnische prestaties van fokdieren. Deze werken hebben de langetermijneffecten (*m.a.w.* de levenscyclus van het dier op de boerderij), net zoals de effecten van intermitterende velden (*m.a.w.* die aanwezig en afwezig zijn in de tijd) en variabelen (m.a.w. het MV is variabel afhankelijk van de exploitatiegraad van de lijn) op dieren slechts weinig bestudeerd.

Er werden zeer weinig studies uitgevoerd over de eventuele impact van deze velden op het rendement van plantaardige producties. Deze laatste vaststelling kan waarschijnlijk worden verklaard door de afwezigheid van navraag en observatie op het terrein.

3. Opfrissing: elektrische en magnetische velden

Enkele fysische beginselen

Allereerst kan men de vraag stellen wat een **veld** is. Dit begrip wordt algemeen gebruikt in de fysica: met spreekt van zwaartekrachtveld, thermisch veld, ... Een veld vertaalt gewoonweg de invloed van een voorwerp op zijn omgeving: de invloed van de aarde met de zwaartekracht, de invloed van een warmtebron, …

In de elektriciteit gebruikt met de begrippen **elektrisch veld** en **magnetisch veld**.

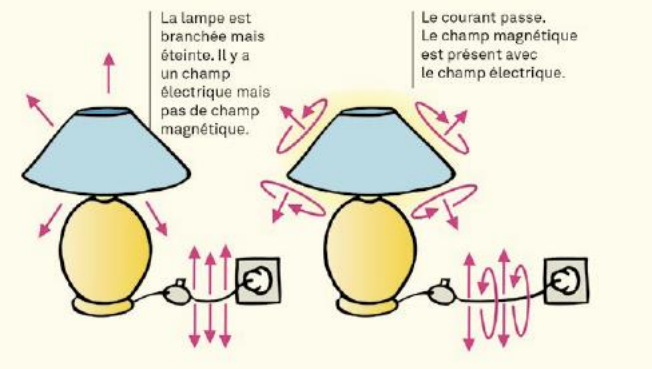
Elektrische en magnetische velden zijn in de natuur aanwezig: in dit geval zijn ze constant en variëren ze zeer langzaam: men noemt ze **statische velden**. We kunnen als voorbeeld geven het aardmagnetisch veld (het bedraagt ongeveer 40 μT in onze regio's en vloeit voort uit circulerende stromingen in de aardkern) en het natuurlijk elektrisch veld aan de oppervlakte van de aarde (over het algemeen ongeveer 100 V/m, dat 10 kV/m kan behalen, ofwel 100 keer meer, in geval van onweer).

De meeste velden zijn evenwel variabel: men noemt ze **wisselvelden**. Ze worden bijgevolg gekenmerkt door een frequentie (snelheid van verandering, uitgedrukt in Hertz (Hz)) en een intensiteit. Dit is het geval voor velden die gegenereerd worden door een hoogspanningslijn waarvan de frequentie in België 50 Hz bedraagt, maar ook elektrische installaties binnenshuis en alle apparatuur die ze voeden.

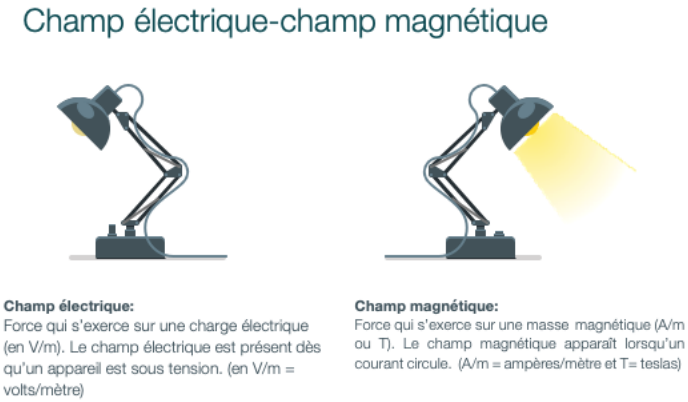
Het **elektrisch veld** vertaalt het aantrekkings- of afstotingseffect dat door een lading wordt uitgeoefend op een andere lading (afhankelijk van hun respectieve tekens). Eenvoudig gesteld kan men zeggen dat het elektrisch veld verband houdt met de spanning. Spanning wordt uitgedrukt in Volt (V) en het elektrisch veld in Volt per meter (V/m) of kilovolt per meter (kV/m - ofwel duizend keer meer dan V/m); hoe groter de spanning, hoe groter het elektrisch veld dat eruit voortvloeit. Een elektrisch voorwerp onder spanning genereert altijd een elektrisch veld, zelfs wanneer er geen stroom doorloopt.

Het **magnetisch veld** beschrijft de kracht die uitgeoefend wordt door een bewegende elektrische lading. Het wordt geproduceerd wanneer de elektrische lading zich verplaatst, wanneer de stroom circuleert. Eenvoudig gesteld kan men zeggen dat het magnetisch veld verband houdt met de stroom. Stroom wordt uitgedrukt in Ampère (A) en het magnetisch veld in Ampère per meter (A/m). Men hoort echter vaker spreken over tesla (T) of eerder microtesla (μT – ofwel een miljoen keer minder dan een T) als eenheid van het magnetisch inductieveld; dit vertaalt het effect van het magnetisch veld in een gegeven milieu.

Verder in dit rapport zullen we het gewoon hebben over magnetisch veld in plaats van magnetisch inductieveld, wat geen aanleiding geeft tot fouten in niet-magnetische milieus, zoals de lucht, die we hier gaan beschouwen in het geval van een bovengrondse verbinding. In dit geval is er equivalentie tussen 1 μT en 0,8 A/m.



[GPSE]



[ELIA]

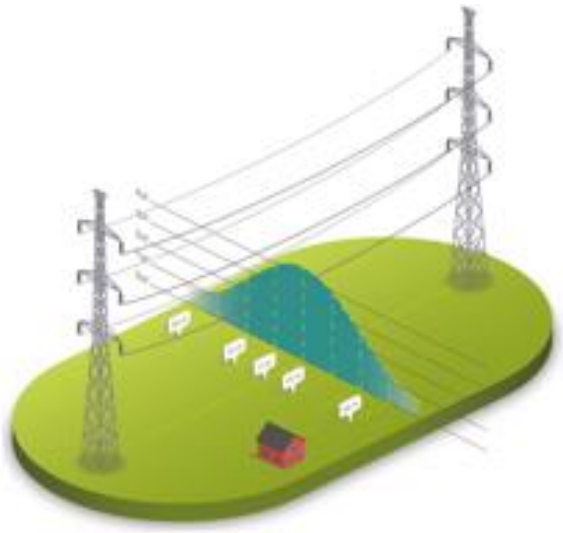
Wanneer we ons nu focussen op een bovengrondse verbinding, genereert deze zowel een elektrisch veld als een magnetisch veld.

Eenvoudigweg kunnen we stellen dat het maximaal elektrisch veld onder een bovengrondse verbinding in verhouding staat tot de spanning en omgekeerd in verhouding staat tot de afstand tussen de geleider die zich het dichtst bij de grond bevindt en de grond.

Zo ook staat het magnetisch veld dat geproduceerd wordt door een bovengrondse verbinding in verhouding tot de intensiteit van de stroom die door de geleiders loopt en afhangt van de geometrie van de lijn (aantal draadstellen[1], beschikking over geleiders, onderlinge afstand tussen de geleiders, …).

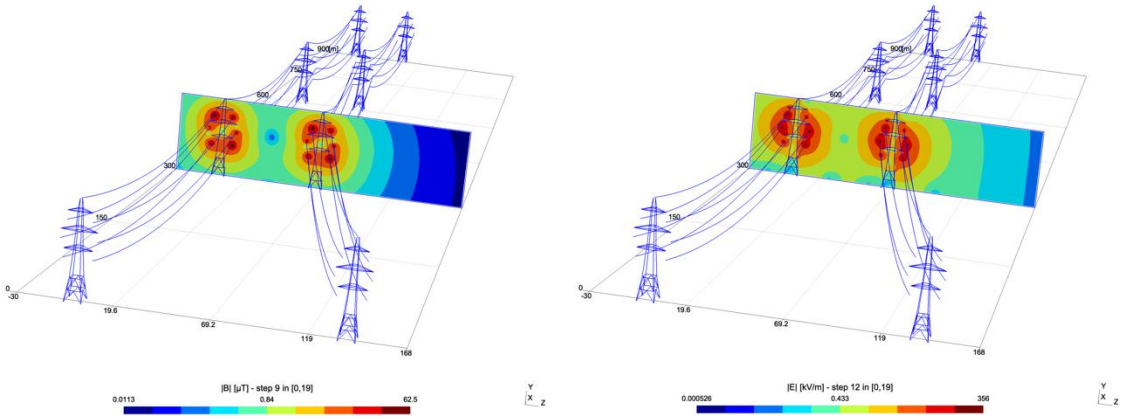
De intensiteit van magnetische en elektrische velden is maximaal in de buurt van hun bron en neemt snel af naarmate de afstand van de lijn groter wordt.

[1] Draadstel: driefasig circuit.

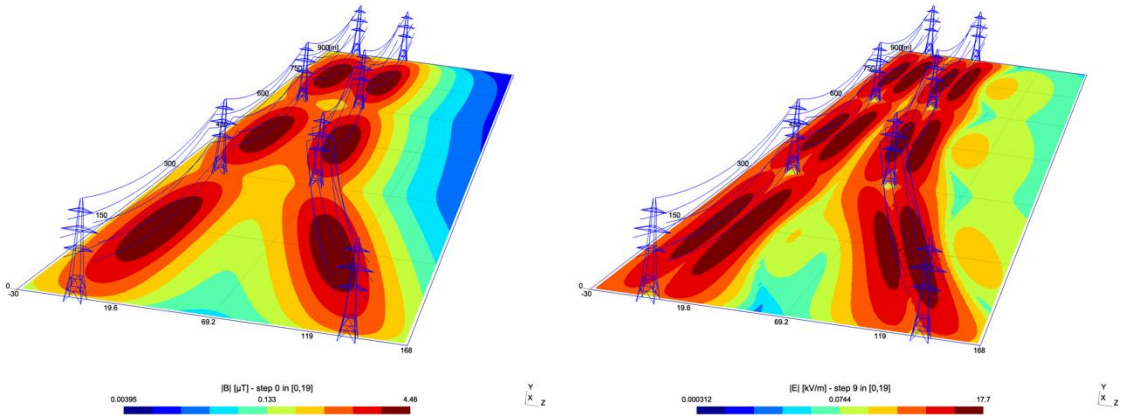


De klokkromme geeft de verdeling van het magnetisch veld weer
loodrecht op de lijn en neemt af wanneer men zich verder van de lijn verwijdert [ELIA]

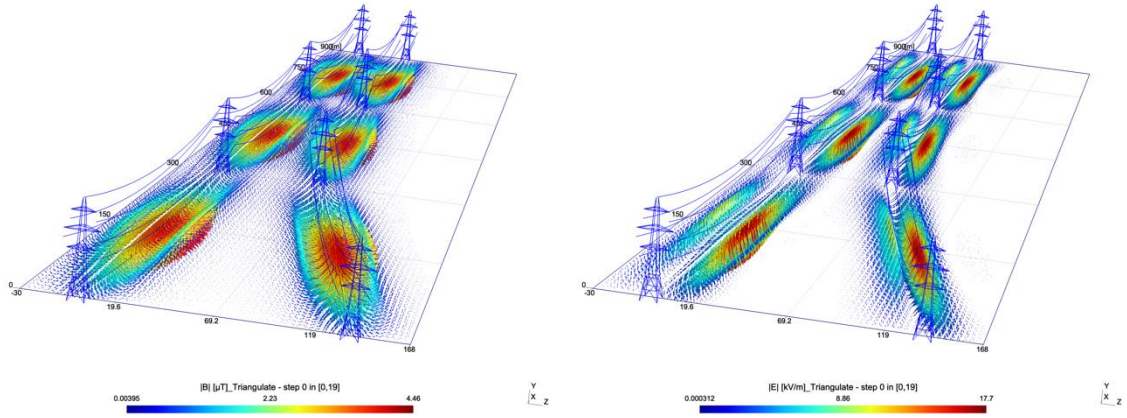
Deze illustraties werden gemaakt door ACE-ULiège (Professor C. Geuzaine) met zijn open source-code ONELAB voor Open Numerical Engineering LABoratory (http://onelab.info).



Scalaire magnetische en elektrische velden volgens een as.



Scalaire magnetische en elektrische velden.



Magnetische en elektrische vectorvelden.

Het Belgisch elektrisch hoogspanningsnet bestaat uit bovengrondse en ondergrondse verbindingen waarvan de spanningen 380 kV (maximaal), 220 kV, 150 kV, 70 kV, 36 kV en 30 kV bedragen.
Een lijn van dit type telt minimaal 3 fasegeleiders (een draadstel) en in de meeste gevallen een beschermingsgeleider die boven het draadstel hangt om de lijn te beschermen tegen blikseminslag.
Dit rapport gaat over bovengrondse verbindingen van 380 kV.
Het is interessant de waarde van het elektrisch veld en van het magnetisch veld te vergelijken voor apparatuur binnenshuis en kweekapparatuur en bovengrondse elektriciteitsverbindingen.

Voorbeelden van elektrische en magnetische velden van 50 Hz[2]

...pour des équipements domestiques et d'élevage		**...pour des lignes électriques aériennes**	
Champs électriques (en V/m)	**Champs magnétiques (en µT)**	**Champs électriques (en V/m)[f]**	**Champs magnétiques (en µT)[f]**
Chaîne stéréo [a]: 180	Rasoir [b]: 15 à 1500	Ligne à 400 000 volts sous la ligne : 5000 à 30 mètres de l'axe : 2000 à 100 m de l'axe : 200	Ligne à 400 000 volts sous la ligne : 25 à 30 mètres de l'axe : 10 à 100 m de l'axe : 0,6
Sèche-cheveux[a]: 80	Sèche-cheveux [b]: 18	Ligne à 225 000 volts sous la ligne : 2000 à 30 mètres de l'axe : 500 à 100 m de l'axe : 50	Ligne à 225 000 volts sous la ligne : 12 à 30 mètres de l'axe : 2 à 100 m de l'axe : 0,2
Grille-pain [a]: 80	Refroidisseur du tank à lait [c]: 0,1 à 2,2	Ligne à 90 000 volts sous la ligne : 1000 à 30 mètres de l'axe : 100 à 100 m de l'axe : 10	Ligne à 90 000 volts sous la ligne : 9 à 30 mètres de l'axe : 1 à 100 m de l'axe : 0,1
Tank à lait [d]: 10	Trayeuse (pompe à vide) [c]: 0,3 à 2,3	Ligne à 20 000 volts sous la ligne : 250 à 30 mètres de l'axe : 10 à 100 m de l'axe : négligeable	Ligne à 20 000 volts sous la ligne : 6 à 30 mètres de l'axe : 0,2 à 100 m de l'axe : négligeable
Télévision à écran plat [e]: 1	Grille-pain [d]: 0,4	Ligne à basse tension sous la ligne : 1,2 à 30 mètres de l'axe : négligeable à 100 m de l'axe : négligeable	Ligne à basse tension sous la ligne : 1,3 à 30 m de l'axe : négligeable à 100 m de l'axe : négligeable
Ordinateur à écran plat : négligeable	DAC [c]: 0,3 à 0,4	Le champ électrique produit par les lignes aériennes est nul à l'intérieur des bâtiments.	
Rasoir [d]: négligeable	Ordinateur à écran plat [b]: 0,20		
Trayeuse [d]: négligeable	Chaîne stéréo [b]: 0,20		
DAL [d]: négligeable	Télévision à écran plat [b/e]: négligeable		

Sources : [a] Office fédéral pour la protection contre les rayonnements, Allemagne, 1999, cité par OMS
[b] Belgian BioElectroMagnetics Group, s.d.
[c] Anses, 2015 (p. 37-38)
[d] Ministère de l'Agriculture et al, 2003
[e] Anses 2017, p. 9
[f] Ineris, s. d. et RTE, 2018. Il s'agit de valeurs maximales.
Pour tous les équipements, les valeurs sont mesurées à 30 cm, sauf pour les appareils qui impliquent une utilisation rapprochée.

[GPSE]

[2] Dit zijn grootteordes, in minimale waarden van elektrische en magnetische velden. In deze vergelijking wordt geen rekening gehouden met de blootstellingsduur die een impact kan hebben op de gemiddelde waarden.

De verschijnselen van elektrische en magnetische koppeling

De inductie van spanningen of van stromen in metalen voorwerpen in de buurt van de elektriciteitsverbindingen is een van de hoofdeffecten van wisselvelden. Dit fenomeen, koppeling genoemd, ligt aan de oorsprong van parasietstromen, zoals we zullen zien in de volgende paragraaf. Men spreekt van magnetische of inductieve koppeling voor het magnetisch veld en van elektrische of capacitieve koppeling voor het elektrisch veld.

Magnetische (of inductieve) koppeling

Het magnetisch veld dat opgewerkt wordt door een elektriciteitsleiding induceert spanningen op nabijgelegen metalen voorwerpen. Deze zijn volledig te verwaarlozen voor voorwerpen waarvan de lengte beperkt is tot enkele tientallen meters. Ze worden echter belangrijk wanneer er evenwijdigheid en nabijheid is **over meerdere honderden meters**. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de metalen leidingen (bijvoorbeeld water, gas, ...), voor telecommunicatiecircuits op een metalen drager, voor metalen geraamten van gebouwen, metalen barrières, ... Deze problematiek is goed gekend en de belastingen kunnen met een grote nauwkeurigheid berekend worden.

Elektrische (of capacitieve) koppeling

Net zoals de stroom in een lijn via magnetische koppeling spanningen kan induceren, kan de spanning van de lijn via elektrische koppeling geleidende voorwerpen in de nabijheid van de lijn beïnvloeden.

Dit verschijnsel houdt over het algemeen minder nadelen of risico's in dan de magnetische koppeling, maar is evenwel veel makkelijker waarneembaar, zelfs op voorwerpen van kleine afmeting. Het kan ook waargenomen worden door de mens, voornamelijk door de beweging van de haren of van de huidharen die het veroorzaakt.

De aarding van het voorwerp dat de capacitieve invloed ondervindt, volstaat om elk effect weg te nemen.

In geval van een ondergrondse elektriciteitsverbinding wordt het elektrisch veld opgesloten in de kabels en is er geen capacitieve koppeling. Enkel bovengrondse verbindingen kunnen aan de oorsprong liggen van elektrische koppelingen.

4. Methodologie

Deze studie werd uitgevoerd door 3 leden van de Universiteit van Luik:

- Véronique Beauvois, Ingenieur, Maître de conférence, Applied and Computational Electromagnetics (ACE) ;
- Yves Beckers, gewoon hoogleraar, Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), Precision Livestock and Nutrition;
- Frédéric Rollin, hoogleraar, Faculteit voor Diergeneeskunde, FARAH, Duurzame producties dieren (rundvee, voeding en ademhalingsziekten).

De gebruikte onderzoeksmethodologie is een bibliografische studie die gebaseerd is op zowel de wetenschappelijke als niet-wetenschappelijke literatuur (*m.a.w.* grijze literatuur) die verzameld werd door de auteurs van deze studie. Ze focust zich op de effecten van elektrische en magnetische velden op de mensen, de apparatuur, de dieren en de planten die zich in de buurt van hoogspanningslijnen bevinden. Ze stelt ook een samenvatting voor van de actiemechanismen van velden op dierlijk en plantaardig niveau.

De wetenschappelijke literatuur werd verzameld in de database SCOPUS© (Elsevier). De niet-wetenschappelijke literatuur werd verkregen met behulp van algemene zoekmotoren die op het WEB zoeken naar de beschikbare documenten. Ze omvat ook syntheserapporten over het onderwerp die opgemaakt zijn door organismen met wetenschappelijke doeleinden.

In beide gevallen werden de bibliografische opzoekingen voornamelijk uitgevoerd door gebruik te maken van relevante trefwoorden voor het onderwerp.

Tot slot is de bibliografische studie gebaseerd op collectieve-expertiseverslagen, waaronder die van de WGO, het EFHRAN, het ANSES en het SCENHIR (zie Glossarium op het einde van het rapport).

5. Volledige bibliografische synthese

De onderzoeksmethodologie die toegepast is op de beschikbare wetenschappelijke literatuur heeft toegelaten meerdere elementen te verzamelen, waarvan een synthese is gemaakt en waarnaar hieronder wordt verwezen.

5.a Menselijke gezondheid - Mogelijke effecten van magnetische ELF-velden op mensen

Alvorens dit onderwerp in detail te bespreken, zouden we eraan willen herinneren dat biologische effecten en risico voor de gezondheid niet met elkaar mogen worden verward.

Biologische effecten zijn meetbare veranderingen als reactie op een stimulus (bijvoorbeeld: blootstelling aan elektromagnetische ELF-velden of blootstelling aan zonlicht). Biologische effecten zijn niet noodzakelijkerwijs nefast voor de gezondheid. Het menselijk lichaam beschikt over compensatie- en reguleringsmechanismen voor verschillende stimuli.
Er bestaat een **risico voor de gezondheid** wanneer het biologische effect de normale compensatiemogelijkheden van het organisme overschrijdt en aanleiding geeft tot een wijziging van de gezondheidstoestand.

We weten dat er zich biologische effecten voordoen bij blootstelling aan hoge niveaus van velden. Dit zijn de **aangetoonde effecten**. Bij lagere niveaus daarentegen zijn de resultaten van wetenschappelijke studies tegenstrijdig en controversieel. Het gaat om **mogelijke effecten**.

5.a.1 Aangetoonde effecten

De meeste weefsels waaruit het menselijk lichaam is opgebouwd, zijn goede geleiders voor elektrische stroom.

Bovendien zullen er in elk geleidend voorwerp dat in een elektrische veld wordt geplaatst, stromen geïnduceerd worden. Het menselijk lichaam ontsnapt niet aan deze regel. Afhankelijk van de weerstand van elk weefsel dat onderhevig is aan deze spanningen, vloeien hier ook geïnduceerde elektrische stromen uit voort. Dergelijke geïnduceerde stromen kunnen ook veroorzaakt worden door een elektrisch veld.

Wetende dat de meest gevoelige weefsels zenuwweefsels zijn die microscopisch klein kunnen zijn (zenuwuiteinden, ...), is men meer in het bijzonder geïnteresseerd in de geïnduceerde spanningsdichtheid die wordt uitgedrukt in V/m, met andere woorden in **intern elektrisch veld** (in tegenstelling tot het extern elektrisch of magnetisch veld).

Bij een blootstelling aan elektrische en/of magnetische velden van 50 Hz **van zeer hoge intensiteit**, kunnen er rechtstreekse effecten verschijnen (zie hieronder). Deze effecten werden bestudeerd op menselijke vrijwilligers en bij dieren. De normen en aanbevelingen beschermen ons tegen deze rechtstreekse aangetoonde effecten. De rechtstreekse effecten hangen af van de intensiteit van het geïnduceerd elektrisch veld in elk van de weefsels waaruit ons lichaam is opgebouwd.

De vraag die men zich dus moet stellen is: welke is de waarde van het maximaal intern elektrisch veld en, van daaruit vertrekkende, het maximale niveau van het overeenkomstig extern magnetisch (of elektrisch) veld dat aanleiding geeft tot geen enkele nefast biologisch effect voor de gezondheid?

Uit onderzoeken is gebleken dat de eerste biologische effecten zich manifesteerden op het netvlies bij een intern elektrisch veld van ongeveer 100 mV/m. Deze omkeerbare effecten - die dus niet gevaarlijk zijn voor de gezondheid - vertalen zich door het waarnemen van kleine lichtflitsen, magnetofosfenen genoemd. Er verschijnen magnetofosfenen onder externe velden van 3.000 µT (voor normen van 100 of 200 µT) en 50 kV/m (voor normen van 5 kV/m).

Er bestaan ook tal van aangetoonde effecten op het zenuwstelsel (rechtstreekse stimulatie van zenuw- en spierweefsels).

Wetenschappelijke studies tonen ook aan dat bepaalde hersenfuncties, zoals de visuele verwerking en de motorische coördinatie tijdelijk beïnvloed kunnen worden door geïnduceerde elektrische velden.

Al deze effecten zijn drempels waaronder deze verschijnen en dus vermeden kunnen worden door bepaalde niveaus van geïnduceerde elektrische velden in het lichaam in acht te nemen.

5.a.2 Mogelijke effecten

Er zijn nog tal van vragen over de gevolgen van blootstelling aan elektrische en magnetische velden van 50 Hz op de menselijke gezondheid, meer in het bijzonder de blootstelling **op lange termijn aan lage intensiteitsniveaus** die vaak teruggevonden worden in ons dagelijks leven.

De bezorgdheden van de bevolking zijn talrijk: hoofdpijn, slaapproblemen, kankers, ziekte van Alzheimer, …

Bij afwezigheid van formele wetenschappelijk verificatie worden deze bezorgdheden nog altijd ondergebracht in de categorie van mogelijke effecten, zelfs al is het onderwerp al bijna 40 jaar lang bestudeerd geweest (zie 5.a.3 hieronder).

5.a.3 Soorten studies over de biologische effecten

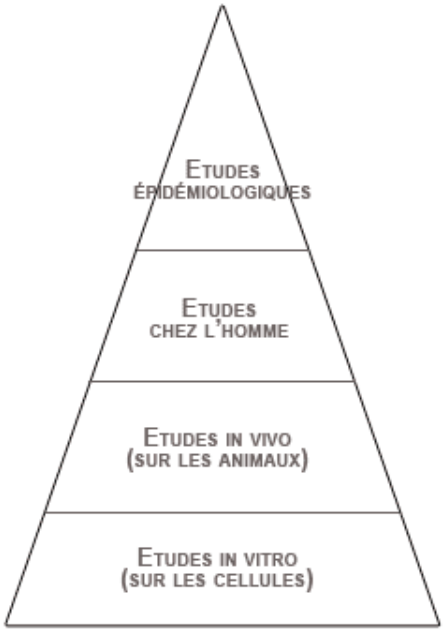
Al bijna 40 jaar lang zijn wetenschappelijke studies uitgevoerd om te bepalen of velden met zeer lage frequenties een mogelijk effect hebben op de menselijke gezondheid.

Deze studies zijn van verschillende types:
- studies in vitro (op celniveau),
- studies in vivo (op proefdieren),
- studies in toto (op menselijke vrijwilligers),
- epidemiologische studies (statistieken).

Elk studietype levert informatie over het onderwerp op, informatie die vaak aanvullend is (*weight of evidence approach*). Elke studie biedt immers voor- en nadelen. Men kan de vertekeningsbronnen aanhalen[3] en de moeilijkheid om een oorzakelijk verband aan te tonen in de statistische studies, de moeilijkheid om een studie over het dier te verplaatsen naar de mens (fysiologische verschillen, moeilijke vergelijking van de dosissen), de ethische aspecten, … De meeste van deze studies hebben

[3] Van de vertekeningen van epidemiologische studies kan met de informatievooroordelen vermelden. Bijvoorbeeld welke grootteorde moet men meten? Is het inductieveld magnetisch, het elektriciteitsverbruik? Welke paramater van deze grootteorde moet worden overwogen? De gemiddelde, mediane, piekwaarde? Waar moet men meten? Voor het huis, in het huis, in de slaapkamer? Welke drempel moet in aanmerking worden genomen? 0,2 µT, 0,3 µT, 0,4 µT? Er is ook een selectievertekening, zoals bijvoorbeeld de ondervertegenwoordiging van onderwerpen van kansarm sociaal-economisch niveau of de weigering van sommigen om een vragenlijst te beantwoorden.

geen enkel aangetoond effect op de gezondheid aangetoond, of moeilijk te reproduceren effecten (een geïsoleerde studie is immers een goede basis voor een hypothese maar moet worden gerepliceerd om de resultaten te bevestigen).



[BBEMG]

5.a.4 Aanbevelingen en reglementeringen voor blootstellingen aan lage frequenties

5.a.4.1 Internationaal niveau

De **ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, in het Nederlands, de Internationale Commissie voor de Bescherming tegen Niet-Ioniserende Stralingen) is een organisme dat samengesteld is uit onafhankelijke wetenschappelijke experts die tot doel heeft belangrijke aspecten te bewaken en te verspreiden van mogelijke effecten op de gezondheid van menselijke wezens van de blootstelling aan niet-ioniserende stralingen, waar de elektromagnetische velden met zeer lage frequenties deel van uitmaken. Het is in samenwerking met de WGO (Wereldgezondheidsorganisatie) dat ze aanbevelingen publiceren waarin rekening wordt gehouden met de effecten op de gezondheid die wetenschappelijk werden vastgesteld.

De aanbevelingen met betrekking tot variabele elektrische en magnetische velden werden gepubliceerd in 1998 [1] en bevestigd in 2010 [2].

De aanbevelingen ter zake zijn gebaseerd op:

- De aangetoonde effecten (van de waarneming van een lichte tinteling op het oppervlak van de huid tot ernstigere ongemakken) die veroorzaakt kunnen worden door blootstelling aan elektrische ELF-velden.
- De inductie van fosfenen in het netvlies door magnetische ELF-velden kan gebruikt worden als model om de effecten op te sporen van geïnduceerde elektrische velden op het centraal zenuwstelsel.

Deze aanbevelingen leggen de limieten vast die uitgedrukt worden in termen van ***basisrestricties***. Jammer genoeg worden deze waarden uitgedrukt in niet meetbare groottes (geïnduceerde stroomdensiteit in mA/m^2 of intern elektrisch veld in V/m). Deze basisrestricties werden op basis van wiskundige modellen omgezet in ***referentieniveaus***, die overeenstemmen met het niveau van de (elektrische en magnetische) velden die deze niet meetbare limietwaarden induceren. Het naleven

van deze referentieniveaus waarborgt het naleven van de basisrestricties. Wanneer de gemeten of berekende velden de referentieniveaus overschrijden, wil dit echter niet noodzakelijkerwijs zeggen dat de basisrestricties niet zijn nageleefd. Dit moet geverifieerd worden.

De waarden van velden van 50 Hz van deze aanbevelingen zijn de volgende:
- Voor de blootstelling aan elektrische velden bedraagt het referentieniveau dat niet overschreden mag worden voor de bevolking 5.000 V/m (5 kV/m);
- Voor de blootstelling aan magnetische velden bedraagt het referentieniveau dat niet overschreden mag worden voor de bevolking 200 µT.

Op basis van de aanbevelingen van het ICNIRP en de gepubliceerde literatuur heeft de **Raad van de Europese Unie** een aanbeveling 1999/519/EG van de Raad van 12 juli 1999 gepubliceerd betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden (van 0 Hz tot 300 GHz) [3].

Bij de frequentie van 50 Hz hebben de effecten waarmee rekening wordt gehouden betrekking op de invloed van de functies van het zenuwstelsel als gevolg van geïnduceerde stromen in het lichaam; de limieten van deze frequentie zijn:
- 5.000 V/m (5 kV/m) voor het elektrisch veld en
- 100 µT voor het magnetisch inductieveld.

Deze laatste waarde is dus lager dan een factor 2 van het momenteel door het ICNIRP aanbevolen referentieniveau (100 µ T in 1998 en 200 µT in 2010), dat gebaseerd is op een nauwkeurigere modellering van het menselijk lichaam die toelaat rekening te houden met lagere veiligheidsfactoren (onzekerheden).

Verschillende Europese landen hebben identieke, of vrijwel identieke, limieten goedgekeurd als die opgenomen in de aanbeveling van de Europese Unie, zoals Duitsland, Frankrijk, Luxemburg en Nederland[4].

Blootstellingslimieten bij 50 Hz

Reglementering / Aanbeveling	Elektrisch veld	Magnetisch inductieveld
	kVolt per meter (kV/m)	microtesla (µT)
België	5, 7 of 10	geen waarde
Raad E.U.	5	100
ICNIRP	5	200

5.a.4.2 Belgisch federaal niveau

Tot op heden bestaat er op Belgisch federaal niveau geen wetgeving betreffende magnetische ELF-inductievelden die opgewekt worden door installaties voor het transport en de distributie van elektriciteit. Het is gebruikelijk te verwijzen naar de aanbeveling van de Raad van de Europese Unie voor de blootstelling van de bevolking (100 µT) [3].

Er bestaat daarentegen wel een ministerieel besluit van 20 april 1988 dat een limiet oplegt voor de elektrische velden die opgewekt worden door installaties voor het transport en de distributie van

[4] Comparison of international policies on electromagnetic fields, National Institute for Public Health and the Environment, The Netherlands, 2018.

elektriciteit (gepubliceerd in het Belgisch Staatsblad van 6 mei 1988) (AREI, art. 139) met de volgende waarden:

- 5.000 V/m (5 kV/m) in de woon- of woonbestemmingszones in het gewestplan,
- 7.000 V/m (7 kV/m) over wegen,
- 10.000 V/m (10 kV/m) op andere plaatsen.

Het gaat om maximale waarden in een niet verstoord regime gemeten op 1,50 meter van de grond of van woningen.

5.a.4.3 Belgisch regionaal niveau

5.a.4.3.a In het Vlaams Gewest

Het besluit van het Vlaams Gewest van 11 juni 2004, dat op 13 juli 2018 werd gewijzigd, betreft de maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door **verontreiniging van het binnenmilieu**. Dit besluit bepaalt de kwaliteitswaarden van verschillende chemische, fysische en biotische factoren voor het binnenmilieu. Voor de magnetische velden zijn de volgende waarden weerhouden: richtwaarde van 0,4 µT en interventiewaarde (of actiewaarde) van 20 µT.

5.a.4.3.b In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

In dit gewest is er geen algemene wetgeving. Er is een besluit van 9 september 1999 betreffende de werkingscondities van **statische transformatoren** met een nominaal vermogen dat ligt tussen 250 en 1000 kVA.

- De waarde van het niet-verstoord elektrisch veld in een niet-verstoord regime dat door de installatie wordt opgewekt moet kleiner zijn dan 5 kV/m;
- Buiten het transformatielokaal zijn de waarden van de 50 Hz magnetische inductie beperkt tot 100 µT bij permanente blootstelling en tot 1000 µT bij kortstondige blootstelling.

Een ministeriële omzendbrief van 29/03/2013 impliceert voor elke nieuwe statische transformator:
In alle gebouwen in dewelke kinderen onder de 15 jaar kunnen verblijven, moet de magnetische inductie bij 50 Hz die door de transformator gegenereerd wordt beperkt blijven tot de gidswaarde van 0,4 µT bij permanente blootstelling op een gemiddelde van 24 uur. Dit geldt echter niet voor gebieden die beïnvloed worden door kabels voordat zij het perceel met de transformator binnenkomen. Als aan deze vereist niet kan worden voldaan, is het de plicht van de aanvrager het bewijs van alle mogelijke technische of economische onmogelijkheden te leveren en het laagst haalbare niveau aan te geven volgens het BATNEEC-principe (beste beschikbare technologie die niet tot buitensporige kosten leidt). De magnetische inductiewaarde mag echter nooit hoger zijn dan 10 µT.

5.a.4.3.c In het Waals Gewest

In dit gewest is er geen algemene wetgeving. Er is een besluit van 1 december 2005 tot vastlegging van de sectorale condities betreffende **statische transformatoren** voor elektriciteit met een nominaal vermogen groter dan of gelijk aan 1.500 kVA:
Art. 5 In gebieden waar een permanente menselijke blootstelling te voorzien is buiten de elektrische veiligheidszone, blijft de waarde van het niet-verstoord elektrisch veld in niet-verstoord regime dat opgewekt wordt door de transformator lager dan 5 kV/m wanneer f = 50 Hz ± 1 %, of lager dan 250/f kV/m wanneer f verschillend is van 50 Hz.

Art. 6 In gebieden waar een permanente menselijke blootstelling te voorzien is buiten de elektrische veiligheidszone, blijft de waarde van de magnetische inductie die opgewekt wordt door de transformator lager dan 100 µT wanneer f = 50 Hz ± 1 %, of lager dan 5.000/f µT wanneer f verschillend is van 50 Hz.

5.a.5 Overzicht van de wetenschappelijke literatuur

5.a.5.1 Standpunt van de WGO (Wereldgezondheidsorganisatie)

In 1996 heeft de WGO het Internationaal Project met betrekking tot de elektromagnetische velden in het leven geroepen om de potentiële risico's voor de gezondheid die verbonden zijn aan technologieën die deze velden genereren, te bestuderen. Een speciale groep van de WGO, bestaande uit wetenschappelijke experts, heeft in 2007 een onderzoek afgerond naar de gevolgen van ELF-velden op de gezondheid. De resultaten van deze groep werden gepubliceerd in een 'aide-mémoire' (nr. 322 van juni 2007) [4] waarin het punt werd gemaakt over de analyses betreffende de gezondheidseffecten van elektromagnetische ELF-velden die in 2002 gepubliceerd werden door het Internationaal Centrum voor Kankeronderzoek (IARC) en in 2003 door de Internationale Commissie voor de Bescherming tegen Niet-Ioniserende Stralingen (ICNIRP).

Terwijl het IARC de gegevens betreffende kanker had onderzocht in 2022, heeft deze groep van de WGO dan weer de gegevens betreffende een aantal gezondheidseffecten geanalyseerd en die betreffende kanker bijgewerkt. De conclusies en aanbevelingen van de speciale groep zijn voorgesteld in een monografie van de WGO van de Environmental Health Criteria (WGO, 2007) [5].

Naar aanleiding van een standaard evaluatieproces van de gezondheidsrisico's is de speciale groep tot de conclusie gekomen dat er geen merkbare gezondheidsproblemen bestaan die verband houden met elektrische ELF-velden met intensiteiten waaraan het grote publiek over het algemeen blootgesteld wordt.

Wat de effecten betreft, maakt de WGO een onderscheid tussen kortetermijneffecten (vrijwel onmiddellijk) en de potentiële langetermijneffecten (over meerdere maanden, zelfs meerdere jaren).

Op korte termijn bestaan er vastgestelde biologische effecten die verbonden zijn aan een blootstelling aan hoge intensiteiten die verklaard worden door erkende biofysische mechanismen. Magnetische ELF-velden buitenshuis induceren elektrische velden en stromen in het menselijk lichaam die, wanneer de intensiteit van het veld zeer hoog is, zenuw- en spierstimulatie veroorzaken en de prikkelbaarheid van cellen van het centraal zenuwstelsel wijzigen.

In geval van blootstelling aan 50 Hz elektrische en/of magnetische velden met zeer hoge intensiteiten kunnen indirecte effecten optreden. Deze laatstgenoemde zijn goed bestudeerd bij menselijke vrijwilligers en bij dieren. Al deze effecten hebben drempels onder dewelke ze niet verschijnen. Ze kunnen dus vermeden worden wanneer de basisrestricties (zie §5.a.4.1) voor geïnduceerde elektrische velden in het lichaam in acht worden genomen.

Daarentegen worden veel vragen gesteld betreffende de effecten op de gezondheid van blootstelling op lange termijn bij lage intensiteiten (van ongeveer µT), die vaak optreden in ons dagelijks leven. Deze vragen over effecten 'op lange termijn/lage intensiteiten' zijn aan bod gekomen in een studie die eind van de jaren '70 is uitgevoerd. Het ging om een verkennende studie die, door het analyseren van een groot aantal verschillende parameters, probeerde de oorsprong te begrijpen van leukemie in de omgeving van kinderen. 50 Hz elektrische en magnetische velden waren een van de bestudeerde variabelen. Daarna hebben epidemiologische studies met een zekere samenhang een verband aangetoond tussen de residentiële blootstelling aan 50 Hz magnetische velden met een intensiteit hoger dan 0,3-0,4 µT en een twee keer zo groot risico op kinderleukemie, maar het waargenomen verband alleen is niet voldoende om tot het besluit te komen dat er een oorzakelijk verband bestaat.

De onderzoeken over velden met lage intensiteiten hebben ook betrekking gehad op verschillende soorten kankers, neurodegeneratieve aandoeningen, depressie, zelfdoding, neurogedragsaandoeningen, vruchtbaarheidsproblemen, hypergevoeligheid, slaapproblemen ... maar zonder dat ze een oorzakelijk verband hebben aangetoond.

Het is belangrijk op te merken dat op vandaag geen enkel actiemechanisme aangetoond is, noch op cellen, noch op proefdieren, dat zou toelaten de risico's op de gezondheid te verklaren.

5.a.5.2 Europese studies

Zie de conclusies van het 'European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure' (EFHRAN) [6,7,8]:

Resultaten	**Bewijskracht**
Kanker	
Kinderleukemie	Beperkt
Hersentumoren bij kinderen	Ontoereikend
Hersentumoren bij volwassenen	Ontoereikend
Borstkanker bij volwassenen	Geen effect
Andere kankers (bij kinderen of volwassenen)	Ontoereikend
Neurodegeneratieve aandoeningen	
Ziekte van Alzheimer	Ontoereikend
Amyotrofe laterale sclerose (ALS)	Ontoereikend
Andere neurodegeneratieve aandoeningen	Ontoereikend
Voortplanting	
Alle resultaten	Ontoereikend
Cardiovasculaire aandoeningen	
Alle ziekten	Geen effect
Welzijn	
Elektrohypersensitiviteit (EHS)	Geen effect
Symptomen	Ontoereikend

Legende:
- Beperkt: beperkt bewijs (wanneer het bewijs beperkt is tot enkele studies of er onopgeloste vragen blijven bestaan over de studie of geen verwarrende factoren kunnen worden uitgesloten uit de studie);
- Ontoereikend: ontoereikend bewijs (wanneer de studie beperkt is in termen van kwaliteit, samenhang of statistische kracht);
- Geen effect

Deze conclusies werden door het SCENHIR bevestigd in zijn laatste rapport (2015): 'Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields' [9].

5.a.5.3 Advies van het ANSES (Frankrijk)

In 2010 had het Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET, nu ANSES) een samenvattend advies van de internationale expertise over de gezondheidseffecten van elektromagnetische ELF-velden gepubliceerd. Deze expertise kwam tot de conclusie dat er een sterke convergentie bestaat tussen de verschillende evaluaties van internationale expertises over de

mogelijke gezondheidseffecten op lange termijn, met name wat het verband betreft tussen de blootstelling aan magnetische ELF-velden en kinderleukemie.
Meer recent (publicaties vanaf 2013) heeft de Géocap-studie, die tot doel had de invloed van verschillende milieublootstellingen in Frankrijk op het risico op kanker bij kinderen te bestuderen, aangetoond dat er bij kinderen jonger dan 5 jaar een statistisch significant verband bestaat tussen het feit te wonen op een afstand van minder dan 50 m loodrecht onder een lijn onder zeer hoge spanning (meer dan 225 kV) en het risico om kinderleukemie te ontwikkelen. Vandaar dat het ANSES de expertise over de gezondheidseffecten heeft bijgewerkt. Ze heeft in 2019 een expertiseverslag gepubliceerd over de gevolgen van elektromagnetische ELF-velden voor de mens [10]. Deze bijwerking is gebaseerd op de resultaten van de expertises van vóór 2010 die uitgevoerd werden door het ANSES en door nationale en internationale organismen en op de systematische analyse van de wetenschappelijke studies die sinds 2010 zijn gepubliceerd.

De gebruikte methodologie heeft toegelaten de verschillende mogelijke effecten van de blootstelling aan elektromagnetische ELF-velden bij de mens in categorieën onder te brengen. De synthese wordt voorgesteld in een tabel waarin de bewijselementen en de bewijsniveaus die verbonden zijn aan elk bestudeerd effect vermeld staan. Afgezien van kinderleukemie waarvoor ze tot de conclusie zijn gekomen dat er een mogelijk effect bestaat, zelfs al is in de studies die na 2010 zijn gepubliceerd minder frequent dat verband terug te vinden, luidt voor alle andere bestudeerde effecten (tumor in het centraal zenuwstelsel bij kinderen, borstkanker, tumor in het centraal zenuwstelsel, kwaadaardige bloedziekte, amyotrofe laterale sclerose, ziekte van Alzheimer en ziekte van Parkinson) de conclusie dat de beschikbare gegevens niet toelaten tot de conclusie te komen dat er al dan niet een effect van de velden bestaat. Deze conclusies zijn volkomen vergelijkbaar met die welke in 2012 werden gepresenteerd door het EFHRAN (zie §5.a.5.2).

Deze bijzonder volledige studie is ook interessant voor de aanbevelingen die erin worden voorgesteld op het vlak van:
- de metrologie (metingen onder accreditatie),
- de verdere karakterisering van de blootstelling, in het bijzonder nabij elektrische transformatieposten, wanneer er meerdere bronnen aanwezig zijn,
- het uitvoeren van a-priorisimulaties,
- de gemakkelijkheid voor particulieren om metingen te bekomen,
- de grotere afstand voor het inplanten van nieuwe gevoelige plaatsen (ziekenhuizen, materniteiten, kinderopvangvoorzieningen, zoals kinderdagverblijven, kleuterscholen, basisscholen enz.) van hoogspanningslijnen, ondanks het feit dat er geen bewijs is van een direct oorzakelijk verband,
- het verderzetten van studies, in het bijzonder voor grote professionele blootstellingen en wat kinderleukemie betreft (met name via gepoolde studies[5]).

5.a.5.4 Specifieke studies over kinderleukemie

Voor de langetermijneffecten hebben de meeste wetenschappelijke onderzoeken zich geconcentreerd op kinderleukemie. Het IARC heeft in 2022 een monografie gepubliceerd waarin ze magnetische ELF-velden klasseerde als mogelijks kankerverwekkend voor de mens (categorie 2-b)[6].

[5] Een gepoolde studie bestaat uit het globaal analyseren van individuele gegevens van verschillende onafhankelijke studies alsof het om één enkele grote studie zou gaan. Dan spreekt men van **gepoolde analyses**. De combinatie van verschillende studies via meta-analyse of gepoolde analyse vat een grote hoeveelheid informatie samen en verhoogt de statistische kracht.

[6] Het IARC heeft een brede waaier van substanties onderzocht op hun eventuele impact op kanker en dit volgens een classificatiesysteem dat de volgende categorieën bevat (januari 2018):
1 – kankerverwekkend (een honderdtal substanties zoals asbest, actief en passief roken);
2-a – waarschijnlijk kankerverwekkend (een 80-tal stoffen zoals de professionele blootstelling van kappers);

Deze categorie 2-b is de laagste van de drie die gebruikt worden door het IARCC (Categorie 1 kankerverwekkend voor de mens, categorie 2a waarschijnlijk kankerverwekkend voor de mens en categorie 2b mogelijks kankerverwekkend voor de mens) om de potentieel kankerverwekkende stoffen te klasseren afhankelijk van de gepubliceerde wetenschappelijke bewijzen.

Deze categorie 2-b wordt gebruikt om een stof te karakteriseren waarvoor men over beperkte elementen beschikt die het kankerverwekkend karakter bij de mens aangeven en over onvoldoende gegevens beschikt met betrekking tot het kankerverwekkend karakter ervan bij proefdieren.

Deze classificatie was gebaseerd op meta-analyses van epidemiologische studies (studies die gebaseerd zijn op statistische vergelijkingen tussen de bevolkingsgroepen die in hun dagelijks leven onderhevig zijn aan verschillende blootstellingsniveaus) die een regelmatig verschijnsel aantonen van verdubbeling van het aantal gevallen van kinderleukemie verbonden aan een gemiddelde blootstelling aan een 50 Hz magnetische veld in woningen die hoger is dan 0,3-0,4 µT. Er dient te worden aangedrongen op het feit dat deze conclusies gebaseerd zijn op gemiddelde blootstellingen op lange termijn (meerdere jaren). De speciale groep is tot de conclusie gekomen dat de andere studies die sindsdien zijn uitgevoerd, niet toelaten deze classificatie te wijzigen. De meer recente meta-analyses tonen evenwel niet langer deze verdubbeling van het risico aan, maar een mindere verhouding. Deze studies hanteren nauwkeurigere methodologieën, met name in termen van blootstellingsmetingen.

De epidemiologische elementen verliezen evenwel aan kracht als gevolg van methodologische problemen (vertekeningen), zoals bijvoorbeeld mogelijke selectie- en informatievertekeningen. Bovendien bestaat er geen enkel geaccepteerd biologisch mechanisme dat zou laten denken dat blootstellingen bij lage intensiteit een rol spelen in de ontwikkeling van kanker. Niet-ioniserende stralingen vertonen immers niet rechtstreeks mutagene effecten. Mochten er bijgevolg effecten van blootstellingen bij deze velden met lage intensiteit zijn, dat zou dit moeten zijn via een biologisch mechanisme dat tot nu toe onbekend is of via potentiële co-promotie-effecten.

Bovendien waren de studies bij dieren met blootstellingen over hun levensuur grotendeels negatief. De WGO concludeert dat de bewijselementen met betrekking tot kinderleukemie onvoldoende bewijskrachtig zijn om ingeroepen te kunnen worden als oorzaak (geen oorzakelijk verband).

We weten dat kinderleukemie een zeldzame ziekte is die in 2000 goed was voor bijna 49.000 nieuwe gevallen wereldwijd. Dit zorgt ervoor dat de epidemiologische studies veel complexer worden omdat een zeer grote populatie 'opgevolgd' moet worden om resultaten te bekomen die statistisch gezien betekenisvol zijn.
De gemiddelde blootstellingen aan magnetische velden van meer dan 0,4 µT in woningen zijn zeldzaam: men schat dat slechts 1 tot 4% van de kinderen in dergelijke omstandigheden woont. Hoewel de band tussen magnetische velden en kinderleukemie een oorzakelijk verband vertoonde, zou het aantal gevallen dat op wereldniveau toegeschreven zou kunnen worden aan een blootstelling aan een magnetisch veld volgens de schattingen tussen 100 en 2.400 per jaar moeten liggen volgens de waarden die geregistreerd zijn voor het jaar 2000, goed voor 0,2 tot 4,95% van de incidentie voor dit jaar[7]. Wanneer de magnetische ELF-velden het risico op ziekte daadwerkelijk zouden doen

2-b – mogelijks kankerverwekkend (meer dan 300 substanties waaronder radiofrequente elektromagnetische velden, magnetische ELF-velden, uitlaatgassen van benzinemotoren, lood);
3 – niet-klasseerbaar (bijna 500 substanties, waaronder koffie);
4 – waarschijnlijk niet kankerverwekkend (één enkele substantie, caprolactam).
Deze classificatie is gebaseerd op een overzicht van studies die beschikbaar zijn gesteld door werkgroepen die zich hebben gefocust op de kwalitatieve en niet-kwantitatieve aspecten.

[7] Dergelijke schattingen zijn niet beschikbaar voor België. Twee in Vlaanderen uitgevoerde studies maken gewag van vergelijkbare cijfers, namelijk 1 tot 2,5%.

toenemen wanneer men deze binnen een wereldwijde context in ogenschouw neemt, dan zouden de effecten van een blootstelling aan elektromagnetische ELF-velden op de volksgezondheid dus beperkt zijn.

Er werden effecten op de gezondheid vastgesteld die verbonden zijn aan een hoge kortstondige blootstelling en deze vormen de basis van twee internationale aanbevelingen met betrekking tot blootstellingslimieten (ICNIRP, 1998 - bevestigd in 2010; IEEE, 2002). Momenteel zijn deze organisaties van oordeel dat de wetenschappelijke elementen die wijzen op een verhouding tussen de mogelijke gezondheidseffecten van een langdurige blootstelling aan zwakke ELF-velden onvoldoende zijn om een verlaging van deze kwantitatieve blootstellingslimieten te rechtvaardigen.

Er dient aan te worden herinnerd dat het niveau van 0,4 µT geen norm is maar een drempel die in sommige epidemiologische studies wordt gehanteerd om de populaties te klasseren.

De WGO heeft bijgevolg de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- De openbare overheden moeten de wetenschappelijke evolutie opvolgen en onderzoeksprogramma's promoten die moeten toelaten de onzekerheid omtrent de wetenschappelijke elementen met betrekking tot de gezondheidseffecten van de blootstelling aan ELF-velden te verminderen.
- De lidstaten worden aangemoedigd doeltreffende en open communicatiecampagnes op te zetten met alle betrokken partijen om met kennis van zaken beslissingen te kunnen nemen. Hiervoor is het misschien aangewezen om de coördinatie en de consultatie tussen de industrie, de lokale overheden en de burgers tijdens het planningsproces voor installaties die elektromagnetische ELF-velden opwekken, te verbeteren.
- Wanneer nieuwe installaties worden gebouwd en nieuwe apparatuur wordt ontworpen, met name toestellen, moeten de methoden worden verkend die moeten toelaten de blootstellingen tegen een lage kostprijs te verminderen. De gepaste maatregelen om de blootstelling te verminderen, variëren van land tot land. Wel zijn de beleidsmaatregelen die gebaseerd zijn op het hanteren van arbitrair lage blootstellingslimieten niet gerechtvaardigd.

5.b Directe effecten van magnetische en elektrische velden die opgewekt worden door bovengrondse hoogspanningslijnen op dieren en planten

5.B.1 Voorwoord

Dit deel van het rapport is toegespitst op de directe effecten van [8] extreem laagfrequente elektrische (EV) en magnetische velden (MV) (*m.a.w.* 50 en 60 Hz, ELF) op gekweekte dieren en geteelde planten in landbouwbedrijven die in de nabijheid liggen van bovengrondse hoogspanningslijnen.

Het is gebaseerd op de wetenschappelijke literatuur die verzameld is door de auteurs van deze studie volgens de principes gedefinieerd in hoofdstuk 4. De wetenschappelijke artikels die zijn geselecteerd om deze samenvatting te maken, worden verder in het document genoemd. Deze studie is ook gebaseerd op 2 wetenschappelijke rapporten die door de auteurs relevant en betrouwbaar worden geacht. Het onderzoek werd niet uitgebreid tot bestuivende insecten, aangezien deze categorie dieren niet tot het toepassingsgebied van de studie behoort.

[8] De rechtstreekse effecten hebben enkel betrekking op de geïnduceerde stromen in het lichaam van dieren na blootstelling aan EV en MV. De indirecte effecten hebben betrekking op de parasietstromen en -spanningen die geïnduceerd worden door de EV en MV op de metalen structuren van gebouwen die zich kunnen manifesteren door middel van elektrische ontladingen die de dieren ondergaan bij contact met de metalen onderdelen of door een stroomcirculatie in het lichaam via de toepassing van een potentiaalverschil.

Het eerste rapport is dat opgemaakt door het Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail in Frankrijk (ANSES, 2015) [11]. Dit rapport is het resultaat van een collectief van 12 experts met diverse en aanvullende competenties[9]. Het is gebaseerd op de analyse van meer dan 300 wetenschappelijke publicaties, hoorzittingen en meetcampagnes van elektrische en magnetische velden in landbouwbedrijven met melkkoeien, varkens en pluimvee. Het expertiseverslag is in een tweede fase zowel voor de methodologische als de wetenschappelijke aspecten gevalideerd door een comité van gespecialiseerde experts dat bestaat uit 30 Franse en buitenlandse wetenschappers. Deze studie had geen betrekking op de effecten van ELF EV's en MV's op planten.

Het tweede rapport is een wetenschappelijke studie (Malkemper et al., 2018) [12] die is uitgevoerd in het kader van een Europese actie Horizon 2020[10] waarbij de expertise van biologen, ecologen en natuurkundigen werd gecombineerd. Het doel ervan was een inventaris op te maken van de wetenschappelijke literatuur van na 2000 waarin de effecten van elektromagnetische velden in de ruime zin op de wilde flora en fauna is bestudeerd. Van de bij aanvang meer dan 140 wetenschappelijke publicaties werden er 97 behouden voor de studie na toepassing van zeer strikte kwaliteitscriteria. In dit rapport worden de effecten van ELF EV's en MV's globaal genomen zeer weinig besproken, vooral bij voedselproducerende dieren en geteelde planten binnen landbouwbedrijven.

5.b.2 Intensiteit van elektrische en magnetische velden in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitsverbindingen met hoogspanning en zeer hoge spanning en in landbouwbedrijven

Voor zover wij weten bevat enkel het rapport van het ANSES (2015) [11] metingen van intensiteiten van ELF EV's en MV's die geïnduceerd worden door elektriciteitsverbindingen met hoogspanning en zeer hoge spanning in de nabijheid van de gebouwen van landbouwbedrijven.

Uit de uitgevoerde meetcampagne blijkt dat de gemeten MV's (50 Hz) onder de lijnen voor het transport van elektriciteit met hoogspanning of zeer hoge spanning een intensiteit hadden die lag tussen 0,01 en 7,59 µT en dat de EV's (50 Hz) varieerden van 46 tot 5.060 V/m. De meetonzekerheden bedroegen respectievelijk 11 en 17%.

Binnen in de gebouwen die bezocht werden door de dieren in de bedrijven in de nabijheid van de lijnen (minder dan 200 m) bedroeg de waarde van de MV's minder dan 3 µT en bedroeg die van de EV's minder dan 43 V/m. De overeenkomstige metingen in de bedrijven op een afstand van de lijnen (meer dan 200 m) leveren waarden op van 0 tot 0,19 µT voor de MV's en van 0 tot 14,5 V/m voor de EV's (het niveau dat klassiek aanwezig is in het milieu).

Uit deze campagne bleek ook dat voor een welbepaalde site die in de buurt lag van de lijnen:
- De intensiteiten van de velden afnamen naarmate de afstand ten opzichte van de lijn toenam. Zo bedroeg de waarde van het MV voor een meetsite onder de lijnen 7,6 µT en op 24 m van de lijnen 2,9 µT (400/400 + 225 + 90 kV) op een site.
- De waarde van het EV bedroeg 2.814 V/m buiten maar 6,8 V/m in het gebouw onder de 400 kV-lijn op een andere site.

[9] De expertisedomeinen bestreken fysica, elektromagnetische velden, genetica van de stress, neurobiologie, neurofysiologie, endocrinologie, fysiologie, pathologie, bacteriologie, parasitologie, epidemiologie, ethologie, dierwelzijn en veehouderij.
[10] Het programma Horizon 2020 is een Europese financieringsbron van onderzoeksprogramma's.

Bovendien werden tijdelijke bronnen van MV (breedband van 40 Hz tot 10 kHz) verbonden aan elektrische apparatuur gemeten (maximaal gemeten waarden op 30 cm van de bron) in de gebouwen van de landbouwbedrijven. Volgens deze studie werden de hoogste waarden (onzekerheid van 18%) gemeten voor de elektriciteitskast (24,00 µT), de soepmachine (18,92 µT), de wasmachine voor de melktank (11,02 µT), de voederschroef (10,91 µT), de compressor (9,70 µT) en de melkpomp (9,17 µT). Bovendien bedroegen de waarden nooit meer dan 10 µT wanneer de meting van de intensiteit van het MV uitgevoerd werd op meer dan een meter afstand van de bron.

Tijdens deze campagne is de blootstellingsduur van de dieren aan de EV's en de MV's enkel uitgevoerd voor koeien in de bedrijven in de buurt van de lijnen (7 bedrijven en 1 tot 2 dieren per bedrijf) en gedurende slechts 24 uur. Er werden gelijkaardige metingen uitgevoerd in bedrijven (5 bedrijven en 1 tot 2 dieren per bedrijf) op meer dan 200 m afstand van de hoogspanningslijnen en de lijnen onder zeer hoge spanning, maar dit keer gedurende slechts 8 tot 9 uur. Het rapport bevat de resultaten voor de verschillende sites. De blootstelling van een dier aan het MV is zeer variabel in de loop van de dag, met name afhankelijk van de activiteiten van de dieren, maar ook van de variatie van het MV of de MV's.

In de loop van een volledige dag (*m.a.w.* de periode van 24 uur voor de dag- en de nachtfase) zijn de dieren van bedrijven in de buurt van de lijnen potentieel het meest blootgesteld (*d.i.* In aantal uren) aan MV's die variëren van 0 tot 0,42 µT en de overeenkomstige waarden voor de verder gelegen boerderijen bedragen 0 tot 0,1 µT (slechts één site van de 5 waar de waarde 0 tot 0,42 µT bedraagt). De maximale waarden van MV's bedragen 0,8 tot 3 µT voor bedrijven op minder dan 200 m afstand van de lijnen en 0,1 tot 0,42 µT voor bedrijven op meer dan 200 m afstand van de lijnen.

Het rapport van het ANSES (2015) [11] drong aan op de noodzaak om de blootstelling van de dieren aan interne (*m.a.w.* geïnduceerd door het elektrisch materiaal van het bedrijf) en externe (*m.a.w.* geïnduceerd door de bovengrondse hoogspanningslijnen en lijnen onder zeer hoge spanning) te monitoren in de landbouwbedrijven die in de buurt van transportlijnen voor elektriciteit liggen. Dit soort monitoring laat immers toe de intensiteit van de potentiële EV's en MV's te meten, maar ook de effectieve blootstelling van de dieren te evalueren afhankelijk van de omgeving van het bedrijf en van hun gedrag (*m.a.w.* positie ten opzichte van het/de bron(nen) van velden). Deze monitoring lijkt onontbeerlijk om de potentiële biologische en zoötechnische effecten van de ELF EV's en MV's op de boerderijdieren te evalueren afhankelijk van de intensiteit van de velden en de blootstellingsduur.

5.b.3 Effecten van de ELF EV's en MV's op de dieren

5.B.3.1 Biologische effecten op model- en voedselproducerende dieren

Wetende dat de blootstelling aan ELF EV's en MV's mogelijk elektrische velden en stromen in het lichaam kan induceren, zijn de biologische effecten van ELF-velden dus mogelijk bij voedselproducerende dieren. Wel moet in het achterhoofd worden gehouden dat het ELF EV weinig doordringt in het lichaam, ofwel een intern EV van enkele mV/m voor een extern EV van enkele kV/m volgens het ANSES (2015) [11]. De effecten van ELF EV's zijn dus voornamelijk het creëren van een oppervlakkige stroom ter hoogte van het lichaam en een zwakke reststroom in het lichaam. Omgekeerd dringt een ELF MV dieper door in het lichaam en kan het een stroom opwekken, maar waarvan de intensiteit globaal genomen 5000 keer zwakker is dan de natuurlijke stromen volgens het ANSES (2015) [11].

Bovendien hangen de effecten van ELF EV's en MV's af van de elektrische weerstand van het lichaam, die zelf afhangt van de diersoort (de mens 1,5 kΩ, pluimvee 19 tot 2.200 kΩ, varkens 0,6 tot 3,3 kΩ en rundvee 0,2 tot 0,9 kΩ), van individuele factoren (traject van de stroom in het lichaam, samenstelling

van de lichaamsmassa, gewicht, contactoppervlak van de grond) en van ecologische factoren, zoals de vochtigheid (ANSES, 2015) [11]. Een gegeven veld zal dus effecten hebben afhankelijk van de lichaamsweerstand van het dier, die varieert naargelang van de hiervoor aangehaalde factoren.

Uit tal van werken blijkt dat dieren, waaronder de gewervelde dieren, gevoelig zijn voor natuurlijke velden met een lage intensiteit (*m.a.w.* minder dan 100 µT, of zelfs enkele µT) en dat deze hun gedragingen aansturen (oriëntatie, richting van de trajecten, migratie…). Men kan dus veronderstellen dat elke wijziging van de velden door de activiteiten van de mens, de gedragingen - of zelfs de werking - van de dieren kan verstoren (Biasotto & Kindel, 2018) [14].

Wetenschappelijke werken die in dit domein zijn uitgevoerd, bestuderen diverse biologische parameters die door de ELF-velden gewijzigd kunnen worden, terwijl andere vanuit theoretisch oogpunt op basis van de biofysische kennis van de cellulaire werking de mogelijkheid van een dergelijk effect proberen aan te tonen.

Vanuit theoretisch oogpunt (de werking van de cel en de geïnduceerde elektrische velden op celniveau) kunnen de MV's die voortdurend lager zijn dan 50 µT (*m.a.w.* waarde van het aardveld) geen grote biologische effecten hebben. Hetzelfde geldt voor de magnetische wisselvelden van 50-60 Hz lager dan 1 µT volgens Adair (2000) [15].

Het principe van Adair (2000) [15] wordt als experimenteel afgedaan door Belova et al. (2007) [16], die aantonen dat zeer zwakke alternatieve wisselvelden (van ongeveer enkele µT, nT zelfs pT) een invloed kunnen hebben op de biologische reacties op een diermodel (de lintwormen, platwormen) en een plantaardig model (het linnen). Volgens hun studies zouden de nucleaire wentelingen van waterstofatomen de favoriete doelen zijn van de ELF-velden bij de 2 biologische modellen.

In hun tijdschrift zijn Belova et Acosta-Avalos (2015) [17] van oordeel dat biologische effecten in werkelijkheid meetbaar zijn bij dieren naar aanleiding van de toepassing van magnetische wisselvelden met een intensiteit die ligt tussen 1 en 10 µT. In dit tijdschrift worden de biologische parameters geïdentificeerd die mogelijk kunnen variëren (*m.a.w.* het vaakst wat de celmodellen betreft), zonder evenwel aan te tonen dat de werking van het dier daadwerkelijk wordt gewijzigd.

De waarschijnlijke actiemechanismen van de ELF-velden op de dieren hebben betrekking op het circadiane ritme (melatonine en/of retinale cryptochromen), de ionische kanalen, het genetisch materiaal (chromosomale afwijkingen), de oxidatieve stress, het immuunsysteem en de fysiologische stress.

5.b.3.1.a Oxidatieve stress

Oxidatieve stress is cellulaire agressie naar aanleiding van de opbouw van voornamelijk reactieve zuurstofverbindingen (ROS) en in de tweede plaats stikstof (REN). Deze reactieve verbindingen worden geproduceerd tijdens aerobe reacties waarbij respectievelijk zuurstof- en stikstofatomen worden gemobiliseerd. Hun cellulaire homeostase wordt zeer fijn aangestuurd door de antioxidanten of speciale enzymen aangezien de reactieve verbindingen zeer sterk reageren in vergelijking met andere moleculen van de cel. Oxidatieve stress wordt globaal genomen beschouwd als een ontstekings- en mutagene factor. De reactieve verbindingen omvatten voornamelijk ionen en vrije radicalen.

De effecten van ELF MV's op de ROS werden door Wang et Zhang herzien (2017) [18] volgens de frequentie (7,5 tot 75 Hz), de intensiteit (50 µT tot 8 mT) en de blootstellingsduur (minuut tot 90 dagen). Volgens dit tijdschrift (117 referenties van 1995 tot 2017) wijzen sommige werken op een

stijging van de ROS, andere op een daling of zelfs op geen effect voor deze parameter. Volgens de auteurs hangen de effecten af van een veelvoud aan factoren die eigen zijn aan het gebruikte model (cellijn, weefsel, soort ROS, ...), aan de karakteristieken van het magnetisch veld (frequentie en intensiteit) en aan de blootstellingsduur. Lai (2019) [19] kwam tot dezelfde conclusies als de voorgaande door in de reactieve verbindingen die gebaseerd op stikstof op te nemen (RNS).

Volgens de studie van Wang en Zhang (2017) [18] blijkt uit de geraadpleegde literatuur dat de ELF-velden de ROS in de cellen van dieren kunnen wijzigen, maar de wijzigingen verlopen niet altijd in dezelfde richting. Bovendien bestuderen vele werken de effecten die geïnduceerd worden door velden met een hogere intensiteit (> 100 µT) dan diegene die geïnduceerd worden door bovengrondse hoogspanningslijnen of lijnen onder zeer hoge spanning (*cf. infra*).

Adair (2000) [15] verwierp vanuit theoretisch oogpunt elk effect van ELF-velden op deze parameter. Meer recent bevestigt Hore (2019) [20], nog altijd vanuit theoretisch oogpunt, de weinige gelijkenis van een effect van ELF-velden op de variatie van radicalen op het niveau van de cryptochromen van de mens. Volgens zijn werken zou de stijging van de productie van deze radicalen naar aanleiding van een MV van 50-60 Hz van 1 µT in aanwezigheid van een aardmagnetisch veld maximaal 10 ppm bedragen, ofwel een zeer lage waarde. Hij toont bovendien aan dat een daling van 1 µT van het aardmagnetisch veld, ofwel de natuurlijke variatie overdag, een effect veroorzaakt dat 100 tot 500 keer groter is dan het ELF MV dat gesimuleerd wordt in zijn theoretische studie.

5.b.3.1.b De cryptochromen

Cryptochromen zijn flavoproteïnen die gevoelig zijn voor zichtbaar licht en die het circadiaan ritme regelen op celniveau (verminderde staat 's nachts en geoxideerd overdag). Ze zijn bovendien gevoelig voor magnetisme (*m.a.w.* ze komen via hun redoxstaat tussen in de magnetoreceptie). Deze proteïnen zijn aanwezig zowel in het plantenrijk als in de dierenwereld op het niveau van het zenuwstelsel, maar ook in perifere weefsels. Hun synthese en werkingsmodel zouden beïnvloed kunnen worden door andere magnetische velden dan het aardmagnetisch veld, waaronder de ELF-velden (Vanderstraeten, 2017) [21].

Het is zeker dat de redoxstaat van cryptochromen gewijzigd wordt door een variatie van het natuurlijk aardmagnetisch veld (*m.a.w.* statisch veld), maar ook door ELF EV's en MV's (ANSES, 2015) [11].

Het Eklipse-rapport concludeerde dat sommige studies suggereren dat de velden die worden opgewekt door elektriciteitslijnen de magnetische richting van gewervelden beïnvloeden, maar de door de auteurs van het Eklipse-rapport geraadpleegde literatuur laat niet toe een specifiek effect van 50Hz MV's los te koppelen van harmonische effecten of zelfs van respectieve elektrische velden (Malkemper et al., 2018) [12].

Door hun rollen op de biologische ritmen, waaronder de celvermenigvuldiging, zou een wijziging van de cryptochromen die geïnduceerd wordt door een elektromagnetische omgeving van het dier gevolgen moeten hebben voor de cellulaire werking (ANSES, 2015) [11]. Recent werd evenwel aangetoond dat een magnetisch veld (50 Hz, 580 µT, 30 minuten) dat werd toegepast op muizen van 8 tot 12 weken oud de uitdrukking van de genen cry1 en cry2 die de cryptochromen in de lever, de bijnieren en de dorsale hippocampus coderen, niet wijzigden (Lundberg et al., 2019) [22].

5.b.3.1.c Synthese van melatonine

Melatonine is een gesynthetiseerd neurohormoon dat geproduceerd wordt door serotonine, dat zelf geproduceerd wordt door tryptofaan. Het is een hormoon dat een centrale rol speelt in de regulering

van biologische cycli bij dieren. Het vormt de belangrijkste biologische seizoensgebonden schuilplaats bij veel dieren omwille van het feit dat het tweede deel van de synthese ervan voornamelijk verloopt tijdens de nachtelijke periode. Het is bijvoorbeeld bepalend om de voortplanting bij kleine herkauwers (*zijnde* schapen en geiten) op dagen waarop het minder licht wordt op te starten. Het zou ook antioxiderende rollen vervullen en het immuunsysteem moduleren (*i.e.* Immunomodulerende functie).

De daling van de nachtelijke piek van de afscheiding van melatonine bij dieren die onderworpen worden aan een ELF EV en MV werd aangetoond in het rapport van het ANSES (2015), maar in afwezigheid van bewijzen van het effect ervan op de cellulaire werking, werd deze verstoring niet relevant geacht om de eventuele effecten van ELF-velden bij dieren te verklaren.

Na het rapport van het ANSES (2015) [11] werd één enkele studie geïdentificeerd die de effecten van ELF EV's en MV's op melatonine bestudeerde. In deze studie werden kalveren van 1 tot 2 maand oud gedurende 1 maand in de zomer en in de winter blootgesteld aan een magnetische veld (50 Hz en 0,4 µT) bovenop het aardmagnetisch veld (49 µT) en werd de speekselconcentratie in melatonine vergeleken met kalveren die niet onderworpen waren aan het magnetisch wisselveld. De basishypothese was dat het MV de productie van melatonine verminderde. Uit de resultaten blijkt dat tijdens de winter de afscheiding wordt verminderd, terwijl ze in de zomer wordt verhoogd naar aanleiding van de blootstelling van de dieren aan het extra veld. Bovendien is de daling meer uitgesproken dan de toename bij kalveren die onderworpen zijn aan het veld dan bij de controledieren. Het effect van een ELF MV op melatonine is dus afhankelijk van de fotoperiode (Kolbabová et al., 2015) [23].

De resultaten van dit experiment zijn opgenomen in de figuur hierna.

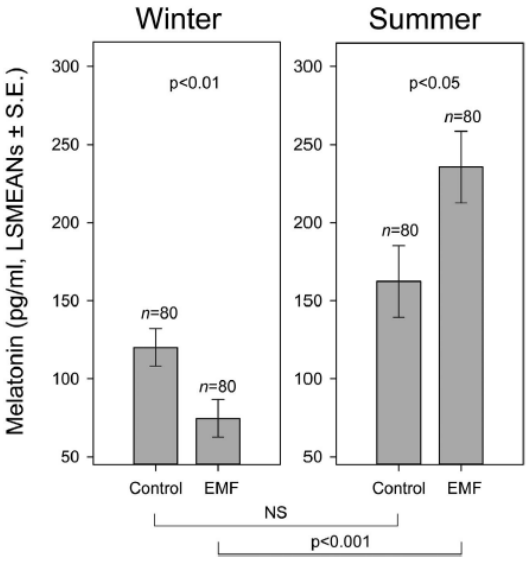


Figure 1. Melatonin concentrations (pg/ml) for control and experimental (EMF) calves (LSMEANs ± S. E.) in winter (left) and summer (right).

5.b.3.1.d Fysiologische stress

Volgens het ANSES (2015) [11] hebben ELF EV's (6 tot 50 kV/m) en MV's (4 tot 30 µT) geen effecten op de fysiologische parameters die getuigen van stress bij gedomesticeerde zoogdieren.

De bibliografische onderzoeken hebben één enkele studie na dit rapport geïdentificeerd waarin een effect wordt aangetoond van ELF MV's op het gedrag van vleesproducerende dieren.

Laszlo et al. (2018) [24] hebben kalkoenen (met een gewicht van 5 kg levend) onderworpen aan een wisselveld (10 µT, 50 Hz) maar op intermitterende manier (elk uur 20 minuten gedurende 3 weken), gedragswaarnemingen uitgevoerd en enzymen gedoseerd (in principe beïnvloed door de stress) in het bloedserum. De resultaten werden vergeleken met de parameters die gemeten werden bij kalkoenen die niet onderworpen werden aan het veld.

Gedurende de testfase vertoonden de kalkoenen die onderworpen waren aan het veld meer inactiviteit, wat volgens de auteurs een depressief gedrag vertaalt, maar geen enkele serologische parameter was verschillend. Ze hebben bijgevolg het effect van ELF MV's gekwalificeerd als 'subtoxisch'.

Ze hebben hun protocol vervolledigd door een *in vitro* model te ontwikkelen waarmee ze de effecten van ELF MV's op de receptoren van de norepinefrine (*i.e.* noradrenaline) konden testen en een significante en aanhoudende vermindering van de receptoren tijdens de testfase aangetoond.

Het belang van de studie was ook dezelfde metingen uit te voeren (gedurende 5 weken) in afwezigheid van het wisselveld bij dieren die eerder onderworpen werden aan dit veld, om de omkeerbaarheid van het effect op de receptoren vast te stellen. De conclusie is positief: volgens hun *in vitro* benadering is het proces omkeerbaar.

Hoewel het gepubliceerd is in een zeer goed tijdschrift (Poultry Science), is het betreurenswaardig dat geen enkel gedragsgegeven tijdens de toepassingsperiode van het veld is gekwantificeerd in het artikel. Ook werd gedurende de tweede periode (*i.e.* Afwezigheid van een veld) geen enkele gedragswaarneming uitgevoerd: de omkeerbaarheid van depressie bij dieren is dus niet aangetoond.

5.b.4 Effecten op de zoötechnische prestaties en gezondheidsimpact van dieren

De terreinstudies (*i.e.* opvolging van de dieren in landbouwbedrijven) uitgevoerd in de jaren '70 en '80 tonen aan dat de ELF EV's en MV's die geïnduceerd worden door bovengrondse elektriciteitslijnen geen effect hadden op de productie- en voortplantingsparameters van rundvee, alsook op hun gezondheidstoestand (ANSES 2015) [11].

Ditzelfde rapport concludeerde de afwezigheid van direct effect van ELF EV's en MV's (tot 12 kV/m) op het graasgedrag van rundvee in de nabijheid en onder de hoogspanningslijnen en lijnen onder zeer hoge spanning, afgezien van tijdelijk een spontane aflijning van de dieren tijdens het grazen en rusten die anders kon zijn (ANSES, 2015) [11].

In een gecontroleerde situatie [11] kwam het rapport van het ANSES (2015) [11] tot de conclusie dat de beschikbare wetenschappelijke literatuur (*i.e.* tot 2014) niet toelaat tot een conclusie te komen over een belangrijk en specifiek effect (*i.e.* een meetbaar significant effect en rechtstreeks geïnduceerd door ELF EV's en MV's) van de ELF EV's en MV's op de prestaties en de gezondheid van vleesproducerende dieren (rundvee, varkens en pluimvee), vooral met blootstellingsintensiteiten lager dan 100 µT. Er werd tot een vergelijkbare conclusie gekomen voor het gedrag van modeldieren, vooral knaagdieren, aangezien het rapport verduidelijkt dat de gemeten effecten bij deze dieren enkel effecten zijn voor intensiteiten die veel hoger zijn dan 100 µT.

[11] Onder gecontroleerde situatie verstaan we de blootstellingsduur aan ELF EV's en MV's en de intensiteit van ELF EV's en MV's worden gemeten en constant geacht gedurende de blootstellingsduur. Het experimenteel initiatief laat ook toe de parasietstromen in het dier te minimaliseren, of deze zelfs volledig te annuleren.

Voor de literatuur na 2014 heeft één enkele recente studie (Ruan et al., 2019) [25] bij volwassen ratten en muizen aangetoond dat de magnetische velden van 30, 100 et 500 μT (50 Hz) waaraan de dieren verschillende weken lang zijn blootgesteld (12 tot 24 weken) a rato van 20 uur per dag, hun vruchtbaarheid en de ontwikkeling van embryo's bij de muizen niet wijzigde.

5.b.5 Biologische effecten van ELF-velden bij planten

In vergelijking met dieren kunnen planten niet ontsnappen aan eventuele verstoringen van hun omgeving aangezien ze immobiel zijn. Ze hebben ook een constante oriëntering ten opzichte van de EV's en MV's. Tot slot induceert hun hoge verhouding oppervlak/volume een blootstelling van meer cellen aan de verstoringen van de omgeving (Malkemper et al, 2018) [12].

Verschillende werken in een laboratorium hebben aangetoond dat de zaden die onderworpen worden aan een ELF MV (16 tot 60 Hz, 0,5 µT tot 2.000 mT) tijdens een voorbehandeling (enkele seconden tot enkele minuten) een betere mate van ontkieming bezaten, wat een impact zou kunnen hebben op de latere productiviteit van de planten. Dit effect is evenwel variabel afhankelijk van de plantensoort of zelfs de geteste variant (Pietruszewski & Martínez, 2015) [26]. Dit effect wordt bevestigd door het recente tijdschrift van de literatuur van Radhakrishnan (2019) [27].

Teixeira da Silva en Dobránszki (2016) [28] tonen aan dat de effecten van ELF MV's (50 Hz) op de ontkieming afhangen van de blootstellingsduur; waarbij korte blootstellingen (uren) globaal genomen een positief effect hebben, in tegenstelling tot lange blootstellingen (dagen) die het vaakst een negatief effect hebben. Volgens Pietruszewski & Martínez (2015) [26] kunnen de toegepaste velden (0,5 µT tot 2.000 mT) de enzymatische activiteiten tijdens het ontkiemingsproces wijzigen.

Uit een terreinstudie uitgevoerd bij planten bleek dat de EV's en MV's die opgewekt worden door een hoogspanningslijn (380 kV), geen impact hebben op de productiviteit van maïs maar wel op die van wintertarwe, die allebei gedurende meerdere jaren geteeld werden in de nabijheid van hoogspanningslijnen in Oostenrijk (Soja et al., 2003) [29]. In het geval van wintertarwe produceren de planten op grotere afstand (40 m) van de lijn meer zaden dan die dichter (2 m) bij de lijn (gemiddeld 5 jaar, afstanden van 2, 8, 12 en 40 m getest en de waarden van de velden bedroegen 4,0, 2,3, 1,0 en 0,2 kV/m voor het EV en 3,0, 2,9, 2,1 en 0,6 µT voor het MV). De auteurs tonen overigens aan dat de productieverschillen het meest opmerkelijk waren tijdens stressperiodes van de teelten (*i.e.* droog *vs.* vochtig jaar) en bevestigen dat globaal genomen de verschillen die verband houden met de afstand ten opzichte van de EV's en MV's klein bleven ten opzichte van de verschillen veroorzaakt door de jaarlijkse veranderingen van het klimaat en door de kenmerken van de bodem. Met dit experiment is begonnen 10 jaar na de installatie van de bovengrondse elektriciteitslijn, wat volgens de auteurs de effecten van de verstoringen van de bodem veroorzaakt door de installatiewerkzaamheden beperkt. Bovendien werden bijkomende maatregelen genomen om de variaties van het pedologisch profiel in de experimentele percelen te beperken.

Volgens een systeem vergelijkbaar met de oliepalm in Maleisië, verhoogde de toename van het magnetisch veld (0,30 tot 1,39 mT) en van het elektrisch veld (0,14 en 60,9 10^{-2} kV/m) van een hoogspanningslijn (275 kV 50 Hz) 7 jaar lang de peroxidase-activiteit[12] en de chlorofylpigmenten in de plant. Deze wijzigingen worden beschouwd als getuigen van stress die veroorzaakt wordt door de ELF EV's en MV's op het niveau van de plant, vooral loodrecht onder de lijn (Mahmood et al., 2013) [30]. Deze studie heeft geen enkel gegeven opgeleverd over de productiviteit van deze plant afhankelijk van de afstand ten opzichte van de lijn. Bovendien lijken de waarden van de MV's die genoemd worden in dit artikel [13] bijzonder hoog ten opzichte van de gebruikelijke waarden voor een hoogspanningslijn van dit type.

Aksoy et al. (2010) [31] hebben aangetoond dat de mitotische index en de afwijkingen van de chromosomen verhoogd waren in de wortelcellen van 2 planten (ui en spelt) die geteeld werden op

[12] Peroxidasen vervullen meerdere rollen, waaronder oxidatieve stress op celniveau beperken en deelnemen aan de synthese van de plantaardige wand.
[13] Deze waarden worden genoemd in het artikel loodrecht onder de lijn.

kleiner wordende afstanden (50, 25, 10 en 0 m) ten opzichte van een hoogspanningslijn (380 kV et 50 Hz). De waarden van de ELF EV's en MV's bedroegen 4,5 kV/m en 1 G[14], 3,5 kV/m en 0,8 G, 1 kV/m en 0,25 G, 0,4 kV/m en 0,1 G, op respectievelijk 0, 10, 25, 50 m. De verhoging van de mitotische index vertaalt een effect van de ELF EV's en MV's op de celvermenigvuldiging, terwijl de chromosomale afwijkingen wijzen op een genotoxisch effect van de ELF EV's en MV's. Volgens deze auteurs moeten dergelijke effecten beschouwd worden als zijnde negatief voor de cellulaire werking. Deze studie heeft opnieuw geen enkel gegeven opgeleverd over de productiviteit van deze planten afhankelijk van de afstand ten opzichte van de lijn.

De effecten van EV's en MV's op de planten werden ook globaal gecontroleerd door Dannehl (2018) [32], maar er kon geen nuttige informatie over dit project uit dit tijdschrift worden gehaald, aangezien ELF-velden niet werden behandeld.

Er werd geen relevante informatie voor dit werk geïdentificeerd in de Eklypse-studie (Malkemper et al, 2018) [12]. Deze studie werd verlengd door een tweede publicatie (Goudeseune et al., 2018) [13] gebaseerd op een internetconferentie. Het rapport produceert de belangrijkste lessen van deze conferentie. Hiervan onthouden we in het kader van deze studie dat 'het meest terugkerende probleem in de huidige wetenschappelijke studies (in alle taxonomische groepen) het gebrek leek te zijn van genormaliseerde en gecontroleerde technische configuraties voor de experimenten en het bewaken van de niveaus en van de blootstellingsfrequenties'.

5.b.6 Conclusies voor de directe effecten bij dieren en planten

De elektrische en magnetische velden die rechtstreeks opgewekt werden door hoogspanningslijnen van 50 Hz in de nabijheid van landbouwbedrijven (*i.e.* op minder dan 200 m) werden gemonitord in een Franse studie en overschrijden loodrecht onder de lijn niet de intensiteitswaarden van 8μT voor het magnetisch veld en 5.000 V/m voor het elektrisch veld volgens de klassieke meetmethode. Het feit verder af gelegen te zijn van de lijn zorgt voor een snelle afname van de intensiteit van de velden.

De waarde van de MV's bedroeg minder dan 3 μT en die van de EV's minder dan 43 V/m in de gebouwen die door de dieren bezocht werden in de bedrijven in de buurt van de lijnen. Overeenkomstige metingen in de bedrijven op grotere afstand van de lijnen (meer dan 200 m) leveren maximale waarden op van 0,19 μT voor het MV en van 14,5 V/m voor het EV.

Bovendien worden magnetische velden die 24 μT (40 Hz tot 10 kHz) kunnen behalen in de buurt van de bron (± 30 cm) in de gebouwen veroorzaakt door de elektrische toestellen die noodzakelijk zijn voor de werking ervan. Deze toestellen kunnen voortdurend of afwisselend werken en op variabele afstanden afhankelijk van de positie van de dieren in het gebouw.

Rekening houdend met de velden die mogelijk opgewekt worden door de lijnen, kwam het rapport van het ANSES (2015) tot de conclusie dat er geen bewezen effect was op de gezondheid en op de prestaties van de dieren van bedrijven die rechtstreeks blootgesteld zijn aan deze velden.

Ten aanzien van het rapport van het ANSES (2015) [11] blijft de wetenschappelijke literatuur verdeeld over de effecten of de niet-effecten van ELF MV's van enkele μT op de werking van de dieren, maar geen enkel plausibel actiemechanisme is aangetoond kunnen worden.

Het was niet mogelijk latere werken dan 2014 te identificeren die bij boerderijdieren de directe effecten van ELF-velden op lange termijn in perfect gecontroleerde situaties bestuderen, noch de

[14] G: Gauss, ofwel 1G is gelijk aan 0,1 mT of 100μT.

effecten van magnetische velden wanneer ze afwisselend zijn afhankelijk van de hoeveelheid stroom die getransporteerd wordt door de lijn.

Twee theoretische studies tonen de onmogelijkheid aan van een effect van ELF MV's van enkele µT op de cellulaire werking van dieren, rekening houdend met mogelijk opgewekte velden en de huidige biofysische kennis.

Bij planten kunnen ELF MV's van enkele µT de biologische parameters wijzigen zonder evenwel altijd aangetoonde effecten te hebben op de plantaardige productie. Enkele studies hebben betrekking op een lange termijn (*i.e.* d duur van het telen van de plant) en nemen zeker en vast de intermittenties van de magnetische velden in overweging. Eén enkele studie toonde aan dat het rendement van een van de 2 geteste planten negatief werd beïnvloed (7% minder productie voor wintertarwe) door de nabijheid van de lijn.

5.c Gezondheid, stress, welzijn en prestaties van productiedieren

5.c.1 Voorwoord

De **elektrische weerstand** verschilt aanzienlijk tussen de verschillende diersoorten, maar ook tussen individuen van eenzelfde soort, afhankelijk van de specifieke omgeving die de fokgebouwen kenmerkt (vochtigheid, metalen structuren van het geraamte, voerhekken, ligboxen, hekken, drinktroggen, melkstal, betonnen werkbladen, ...). Bijgevolg zijn de geraadpleegde publicaties het over het algemeen eens om een lichaamsweerstand toe te kennen van 500 Ω voor rundvee (vork van 300 tot 1.700 Ω volgens het traject dat wordt afgelegd door de stroom), terwijl ze gemiddeld genomen 4 keer hoger ligt bij varkens, 10 keer hoger bij schapen en 100 tot 2.000 keer hoger bij pluimvee (Appleman en Gustafson, 1985).

Hoewel de waarneming van een elektrisch verschijnsel getuigt van het bestaan van een elektrische werkingsstoornis die onmiddellijk dient te worden verholpen, betekent dit niet systematisch een verstoring van de gezondheid en een daling van de productie. We focussen ons in dit rapport op het rundvee[15] omwille van zijn lagere perceptiedrempel voor elektrische stromen ten opzichte van andere productiedieren.

Tot voor kort vermeldde de waarnemingsdrempel van elektrische verschijnselen bij runderen (de meest gevoelige diersoort gelet op haar zeer lage weerstand) regelmatig een stroom van 1 mA, wat, gelet op zijn zeer lage weerstand bij het passeren van de stroom, overeenstemt met een spanning van 500 mV (Norell et coll., 1983) [40]. Het is een veel lagere waarde dan de recenter gepubliceerde naar aanleiding van een meta-analyse, namelijk 3 mA (Erdreich et coll., 2009) [37]. Wel dient aandacht te worden besteed aan het oppervlak van de voet dat als eerste de grond raakt om het contact te creëren (Hultgren, 1990) [39]. Zo resulteert uit een stroom van 1mA tussen de kop van de koe en haar achterpoten een stroomdensiteit van minimaal 250 mA/m^2 in de onderste ledematen, overwegende een effectief contactoppervlak met de grond van minstens 20 cm^2 per lidmaat. Maar met een contactoppervlak van 2 cm^2 of minder kunnen de bekomen waarden meer bedragen dan 5.000 mA/m^2, met andere woorden, de drempel die wordt beschreven als een invloed kunnen hebbend op de membraanpotentialen van de cellen (Sheppard et Eisenbud, 1977) [44]. Het is immers zo dat alle levende cellen een membraanpotentiaal hebben dat te wijten is aan het ionisch onevenwicht (K+ vooral aan de binnenkant van de cellen en Na+ vooral aan de buitenkant van de cellen) dat onderhouden wordt door de Na+/K+-pompen die niet stoppen met werken en die hiervoor energie nodig hebben. Dit membraanpotentiaal in de rustfase bedraagt ongeveer 70 mV. Voor 'prikkelbare' cellen, zoals zenuwcellen, bedraagt de stimulatiedrempel 126 V/m. Wanneer het membraanpotentiaal van een cel wordt gewijzigd, kan dit de werking ervan verstoren.

Ook opgelet dat de experimentomstandigheden niet altijd de terreinomstandigheden weerspiegelen. Bijgevolg, en om enkele voorbeelden te geven, kunnen een abces aan de zool, de huid in de zijde van de beschadigde hoef, een ontsteking van de klauwhuid (Mortellaro), een etterende ontsteking van de huid van de gewrichten de doorgang van de stroom doorheen het rund nog een beetje vergemakkelijken (Appleman en Gustafson, 1985) [35].

[15] Dit betreft evenzeer vleesrunderen als melkrunderen. Wel is het zo dat deze laatste, wegens de kracht van de dingen (twee keer per dag melken en het kalf dat niet drinkt bij zijn moeder) makker en gemakkelijker te manipuleren zijn dat vleesrunderen (het vleesras Belgisch witblauw, dat bij ons zeer vaak voorkomt, is in dit opzicht helemaal niet representatief voor vleesrassen). Het zijn dus bijna altijd melkrunderen die gebruikt worden in de gepubliceerde experimenten met betrekking tot elektromagnetische velden. In voorkomend geval is het ook veel gemakkelijker om een effect op de melkproductie - die zeer snel kan veranderen - aan te tonen dan op de vleesproductie (Gemiddelde Dagelijkse Groei, GDG).

Tot slot dient in het achterhoofd te worden gehouden dat deze in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde waarden van toepassing zijn op stromen bij extreem lage frequentie (ELF van 50 – 60 Hz) die geacht worden gedistribueerd te worden aan elektriciteitsklanten, terwijl deze ELF-stromen verontreinigd kunnen worden door andere, soms zeer hoge frequenties.

Bij lage frequenties (50 Hz) blijven de elektrische en magnetische velden onafhankelijk. Voor de hogere frequenties (bv. radiofrequenties) zijn de elektrische en magnetische velden onlosmakelijk met elkaar verbonden.

5.c.2 Impact op het welzijn, de gezondheid en de prestaties van productiedieren

De onderzoeken die de impact bestuderen van elektromagnetische velden (EV) die opgewekt worden door ELF-hoogspanningslijnen op de gezondheid en de zoötechnische prestaties van productiedieren, zijn niet legio. Sommige zeer strenge studies in gecontroleerde experimentele omgeving weerspiegelen niet goed de daadwerkelijke omstandigheden die teruggevonden worden in fokkerijen op het terrein. Dit kan de uiteenlopende resultaten verklaren die bekomen kunnen worden in deze twee soorten studies.

Het is immers zo dat een duidelijk onderscheid moet worden gemaakt tussen de **directe effecten** van de EV-velden op de dieren zelf, die gewoonlijk experimenteel worden getest, en de **indirecte effecten** die kunnen voortvloeien uit **parasietstromen** die opgewekt kunnen worden door deze EV-velden op de metalen structuren van de bedrijven (elektrische ontladingen door contact van de dieren met deze metalen structuren). De parasietstromen verstoren het gedrag van de dieren. Ze doen zich veel gemakkelijker voor wanneer de elektrische installatie van de gebouwen niet conform is en/of met de tijd gewijzigd/beschadigd is. Een doeltreffende aarding van de installaties is het veiligste middel om de effecten van deze parasietstromen teniet te doen. Bij het fokken is een weerstand van de aardingsstekker ≤ 18 Ω gewenst, wat minder is dan de aanbevolen waarde voor de aardingsstekker van een woning (30 Ω), aangezien dieren en in het bijzonder runderen veel gevoeliger zijn voor parasietstromen dan menselijke wezens (weerstand van een menselijk wezen geschoeid met laarzen 10.000 Ω *vs.* die van een rund 500 Ω).

Parasietstromen kunnen oorzaken kennen die **extern** en/of **intern** zijn aan bedrijven (ANSES, 2015). De **externe bronnen** moet men zoeken in de **zwerfstromen** (stromen die in de bodem circuleren wanneer deze gebruikt wordt als geleider, bijvoorbeeld als de nulleider van de elektriciteitsdistributienetten wordt geaard) en in de EV-velden die de elektrische lijnen omringen en die, door inductie, dergelijke parasietstromen opwekken in de omliggende metalen structuren. In tegenstelling tot magnetische inductie (inductieve koppeling) wordt elektrische inductie (capacitieve koppeling) geblokkeerd door de materialen die een scherm vormen voor elektrische velden, zoals de muren en het dak van een stal bijvoorbeeld. Een laatste externe bron van parasietstromen is de **koppeling van de aarding** van het bedrijf met een andere die dicht in de buurt ligt, zoals bijvoorbeeld die van een elektrische transformator die in de onmiddellijke omgeving is geplaatst.

De **interne bronnen** van parasietstromen in het bedrijf zijn talrijk en uiteenlopend:

- De eventuele **lekstromen** van verschillende elektrische toestellen (defecte aarding, afwezigheid van equipotentiaalverbindingen). Voor melkkoeien is een equipotentiaalverbinding bevredigend wanneer de weerstand tussen 2 punten niet meer bedraagt dan 0,2 Ω.
- **Het batterij-effect of de elektrochemische koppeling**: sommige producten gedragen zich als het elektrolyt van een batterij (mest, voeders, ...) in aanwezigheid van metalen.
- De **elektrostatische ontlading** naar aanleiding van de opeenhoping van elektriciteit op sommige isolerende materialen door wrijvingen.

- De **straling** van elektrische toestellen, vooral die welke gebruikmaken van motoren of die elektronische componenten bevatten, zoals snelheidswisselaars van pompen (*i.e.* vacuümpompen van robots of melkstallen). Ze kunnen parasietstromen met een hoge frequentie opwekken die de elektrische voeding van andere toestellen en, door straling, zonder rechtstreeks contact, de werking van gevoelige elektronische toestellen kunnen verstoren.
- De **elektrische afsluitingen** - korte impulsen (< 10 msec), met een frequentie ≤ 1 Hz maar een zeer hoge spanning (van 10.000 tot 15.000 V) - waarvan de positieve pool verbonden is met de afsluiting aan de rand van de gebouwen en de negatieve pool met een andere aardingsstekker, die zich evenwel in de buurt bevindt van die van het bedrijf, die gebruikt wordt als terugkeergeleider.

Volgens de experts die de elektrische installaties controleren, vindt ongeveer 80% van de problemen met parasietstromen zijn oorsprong in de boerderij. Wanneer de elektrische installatie van het bedrijf evenwel conform de normen is, dan is de enige bron van parasietstromen de neutrale geleider via zijn contact met de aarde. Zo kan de stroom door metalen waterleidingen lopen, door beschermingssystemen van lichtpunten enz. De overige 20% van de elektrische problemen vloeien voort uit kwaliteitsproblemen (transiënten en harmonischen) van de elektrische stroom die geleverd wordt aan het bedrijf. Bij vervuiling van de stroom met stromen met hoge frequenties neemt de weerstand van de koe af en neemt de intensiteit van de stroom die er doorheen stroom toe. Het gedrag van koeien wordt beïnvloed bij frequenties < 1.000 Hz en ze hoeven geen metalen onderdelen aan te raken om beïnvloed te worden door harmonischen. Hun melkproductie neemt af wanneer de transiënten en de harmonischen toenemen. Waarden zo laag als 8,1 mV spanning van piek naar piek (en niet het kwadratisch gemiddelde) worden dan gevoeld door de koeien. De auteur vermeldt dat de isolatie van de neutrale geleider door een blindering de harmonischen en de stroom die doorheen de koeien stroomt vermindert, hoewel men hierover kan twijfelen. Hun gedrag, hun gezondheid en hun melkproductie zullen verbeteren wanneer de primaire neutrale geleider wordt geïsoleerd in bedrijven met problemen (Hillman et coll., 2013) [38].

Het onderzoek door het ANSES (2015) [34] van de wetenschappelijke literatuur heeft hen **niet** toegelaten **directe effecten** van EV-velden op het gedrag, de prestaties en de gezondheid van productiedieren aan te tonen. Sommige studies, zoals die van Burchard en Nguyen (1996) [36], tonen zelfs positieve effecten bij zogende melkkoeien die in een metabole kooi in hout worden blootgesteld aan een verticaal elektrisch veld van 10 kV/m gekoppeld aan een magnetisch veld van 30 µT: stijging van de ingenomen droge materie en van de melkproductie.

Het ANSES (2015) [34] heeft de EV-velden laten meten in de omgeving van fokdieren op een dertigtal boerderijen die al dan niet in de buurt van een hoogspanningslijn zijn gelegen. Zo heeft men het gemiddelde niveau van de velden die men tegengekomen is in deze fokkerijen kunnen bepalen. Onder de hoogspanningslijnen, tussen 0,01 en 7,59 µT voor de magnetische velden en tussen 46 en 5.060 V/m voor de elektrische velden. Deze door de hoogspanningslijnen opgewekte velden hadden een lage intensiteit binnen in de fokgebouwen: respectievelijk < 3 µT en 43 V/m. Ter vergelijking, de door de interne bronnen van deze gebouwen opgewekte velden waren sterker.

Daarentegen zijn de **indirecte effecten (parasietstromen)** op de runderen beter beschreven, zelfs al is het niet altijd eenvoudig het onderscheid te maken tussen gezondheid en zoötechnische prestaties, die in werkelijkheid zeer nauw met elkaar verbonden zijn.

In hun artikel beschrijven Appleman en Gustafson (1985) [35] verschillende mogelijke reacties van runderen op parasietstromen:

- Afwisselende periodes van daling van de melkproductie.

- Onvoldoende melkproductie die niet verklaard kan worden. Dit kan het gevolg zijn van een vermindering van de melkachtige afscheiding, van een verstoord gedrag tijdens het melken en/of van een onvolledige afgifte van melk.
- Toename van het aantal voorvallen van mastitis.
- Hoge cellulaire percentages.
- Verlenging van de melkduur.
- Onvolledig leegmaken van de uier.
- Extreme nervositeit in de melkstal.
- Afkeer om de melkstal te betreden.
- Snel verlaten van de melkstal.
- Terughoudendheid om metalen drinktroggen of eettroggen te gebruiken.
- Gewijzigd gedrag van het rund.

Het ANSES (2015) vervolledigt deze lijst met de volgende symptomen:
- Rillingen,
- Borstelige haren,
- Koeien die het water in de drinktrog 'plonzen'.

Het ANSES vermeldt ook hoge percentages somatische cellen in de melk, wat getuigt van de aanwezigheid van chronische subklinische mastitis. Dit onderwerp zorgt evenwel voor heel wat polemieken en voor zeer weinig unanimiteit (Reinemann, 2012) [42].

Het blijkt dat een reeks onregelmatige of afwisselende elektrische schokken het normale gedrag van koeien kan wijzigen en hun productie kan doen afnemen (Rigalma et coll., 2010) [43]. Permanent blootgestelde koeien (voorzienbaar) kunnen eraan gewoon worden, wat niet het geval is voor koeien die willekeurig, onvoorzienbaar worden blootgesteld die een matige chronische stress ondergaan. Het is een feit dat de stressreactie het vaakst chronisch is en dat daarom onderscheid moet worden gemaakt tussen de langetermijneffecten van blootstelling aan deze parasietstromen en diegene die op korte termijn worden waargenomen (Hultgren, 1990) [39].

Een bijzonder interessant en instructief recent artikel is dat van Stetzer en medewerkers (2016) [45] die de lijst met waargenomen symptomen vervolledigen en gedrags-, productie- en gezondheidsproblemen duidelijk met elkaar in verband brengen:
- Onophoudelijk ijsberen,
- Onbedoeld zwaaien met de staart,
- Opgezwollen hakken,
- Blessures aan de hoeven die niet reageren op behandelingen met antibiotica,
- Mastitis,
- Plotse en sterke daling van de melkproductie,
- Trappen met de voet tegen melkers,
- Onvolledige en ongelijke uitstroom van de melk tijdens het melken,
- Abortussen,
- Doodgeboren kalveren,
- Manken,
- Hogere sterfte van dieren op een korte periode.

Bovendien, op basis van een diepgaande en gedetailleerde studie over een geval in het bijzonder in een melkbedrijf in Wisconsin, tonen dezelfde auteurs de belangrijkste verkeerde opvattingen aan die opgenomen zijn in de vorige studies:
1) De standaardwaarde van 1 V (kwadratisch gemiddelde) is geschikt om melkkoeien te beschermen.

2) Met frequenties hoger dan 60 Hz hoeft geen rekening te worden gehouden.
3) Alle bronnen van parasietstromen vinden hun oorsprong in de boerderij die een probleem met dergelijke stromen kent.

Ze leggen er heel goed in uit hoe een permanente monitoring van de parasietstromen in een melkbedrijf kan plaatsvinden (stapspanningen), hoe interne en externe bronnen die bijdragen aan stapspanningen kunnen worden bepaald en verholpen, welke de maatregelen van stapspanningen zijn die het welzijn van koeien en hun melkproductie beïnvloeden, alsook hun band met de vastgelegde normen.

Gelet op het feit dat koeien gevoelig zijn voor piekspanningen en niet voor het kwadratisch spanningsgemiddelde (Aneshansley en Gorewit, 1999) [33], bevelen ze aan om in plaats van een digitale voltmeter een oscilloscoop te gebruiken om de spanning te meten.

Zo heeft men de volgende bronnen van parasietstromen kunnen identificeren met de overeenkomstige spanningswaarden van piek tot piek:
- Verlichting: 300 mV,
- Ventilatoren: 200 mV,
- Pompen: 30 mV,
- Identificatiesysteem door middel van radiofrequentie (RFID): 600 mV,
- Externe bron van de boerderij: > 500 mV (niet continu maar wel degelijk afwisselend).

Het geregistreerde spectrum van frequenties gaf frequenties aan tot en waarschijnlijk hoger dan 10 kHz (> 166^{e} harmonisch van 60 Hz – aangezien Amerikaanse studie). Een frequentie van 60 Hz tot een spanning van 1V heeft echter dezelfde energie als een frequentie van 60 kHz tot een spanning van 1 mV. Bij hoge frequenties is de weerstand van de koe verminderd en boven de 1,7 kHz kan de stroom in het lichaam komen, wat aanleiding zou kunnen geven tot letsels ter hoogte van de inwendige organen, zoals werd waargenomen bij autopsies (Reilly, 1992) [41].

De verbetering die door deze auteurs werd waargenomen in termen van melkproductie bedroeg + 1,3 kg melk/koe/dag waarbij de verlichting werd uitgeschakeld in de melkstal (meer melk en kortere melktijd, minder koeien die in de melkzaal 'dansten') en 0,8 kg extra na de bypass van de ventilatoren van de stal (de koeien brachten meer tijd liggend door in de vrije stallen, wat gepaard gaat met een betere melkproductie). De kwaliteit van de melk is daarentegen niet noemenswaardig gewijzigd.

Bijgevolg suggereren ze dat de transiënte spanningen zo laag als 10 mV (van piek tot piek) de melkproductie en de gezondheid van de koeien negatief kunnen beïnvloeden. In 2013 kwamen Hillman en medewerkers reeds tot dezelfde conclusie. De auteurs bevelen ook aan dat een voortdurende monitoring zou worden ingevoerd om de externe bronnen van parasietstromen te bepalen, gelet op het feit dat ze zeer goed alleen maar afwisselend kunnen zijn. Ze geven ook het feit aan dat, om de overtollige stroom af te voeren, de aarde soms gebruikt wordt als een extra permanente geleider in het distributiecircuit daar waar de elektriciteitskabels goed geïsoleerd zijn. Hieruit vloeit voort dat er stromen op ongecontroleerde wijze op het oppervlak van de aarde vloeien (zwerfstromen). Deze situatie komt relatief vaak voor in de Verenigde Staten.

Wel dient hier overwogen te worden dat de elektriciteitsnetten anders zijn in België dan in de Verenigde Staten. De neutrale geleider van transformatoren is in België immers geaard (TT-netwerk) terwijl de neutrale geleider en de aarding in de Verenigde Staten samengevoegd worden om een kabel uit te sparen (TN-C-netwerk).

5.c.3 Conclusie

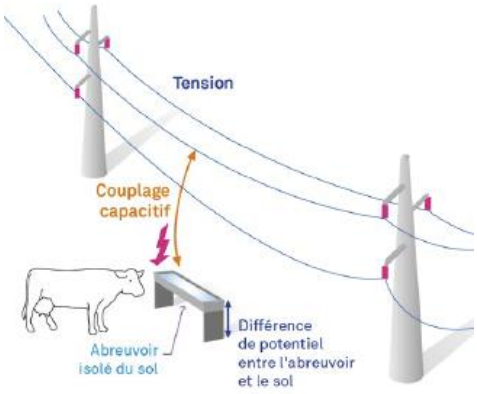
Ter conclusie dient wel degelijk het onderscheid te worden gemaakt tussen de **directe effecten** van een hoogspanningslijn op de gezondheid en de prestaties van productiedieren die ondergebracht zijn in een stal en de effecten die deze lijn **indirect** bij hen kan veroorzaken, in het bijzonder wanneer de elektrische installatie van het bedrijf niet conform is, terwijl ze geen bijzonder probleem kende bij de inbedrijfstelling van de lijn.

Wat de negatieve **indirecte effecten** van de EV-velden betreft die door de hoogspanningslijnen gegenereerd worden op het gedrag, de prestaties en de gezondheid van productiedieren, heeft geen enkele studie dit voldoende kunnen aantonen. Integendeel. Sommige hebben zelfs positieve effecten bij melkkoeien vastgesteld die hun consumptie van droge materie en, van daaruit vertrekkend, hun melkproductie licht hebben zien toenemen.

Wel kunnen zich zeer goed nefaste **indirecte effecten** manifesteren naar aanleiding van de aanwezigheid van **zwerfstromen** die veroorzaakt worden op de metalen structuren van bedrijven die slechts zijn aangesloten op de aarding, te beginnen met gedragsproblemen, gevolgd door een daling van de productie bij melkkoeien, of zelfs een geleidelijke verslechtering van hun gezondheidstoestand die zelfs in de meest extreme gevallen kan leiden tot de dood.

5.d Parasietstromen in fokkerijen

In Frankrijk heeft de GPSE (Groupe Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole) veel gewerkt aan de problematiek en komt ze regelmatig tussen in dossiers en vragen van de Franse landbouwwereld. In 2000 werd een eerste brochure gepubliceerd over de risico's die verbonden zijn aan parasietstromen in fokkerijen. In 2019 werd een update gepubliceerd[16], met name teneinde rekening te houden met de evoluties in de landbouwbedrijven met de ontwikkeling van elektrische en elektronische apparatuur, de robotisering en de toename van het aantal metalen structuren.

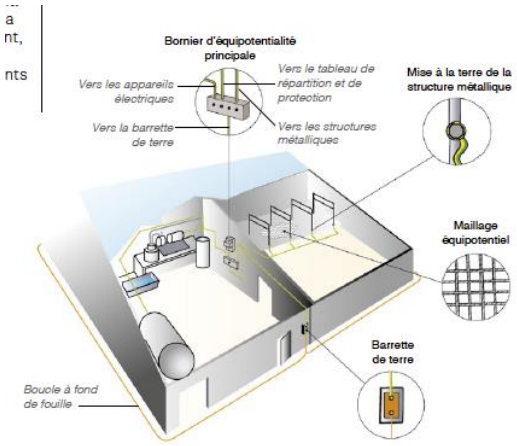


[GPSE]

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf interageren de elektrische en magnetische velden met de metalen structuren in de nabijheid (inductieverschijnselen). Men kan menen dat dit van toepassing is in de eerste 50 meters. Vanzelfsprekend moet voor een nauwkeurige evaluatie geval per geval een berekening worden gemaakt op basis van de afstand, de gemiddelde stroom, de lengte van de metalen structuur, de oriëntering ten opzichte van de as van de lijn, ... In dit geval is het van essentieel belang om de **regels voor een 'goede' elektrische installatie** in acht te nemen.

[16] Courants électriques parasites en élevage – Connaître et maîtriser, GPSE, 2019.

In landbouwbedrijven kunnen sommige verschijnselen gevolgen hebben, zoals onweders, vocht, stof, roestvorming, ... Dit alles versnelt de veroudering en de aantasting van de diverse metalen structuren (voorbeelden: voerhekken, drinkbakken, afsluitingen) en vermindert de kwaliteit van de aardingen, de contacten, ...
Het is dus van essentieel belang om een goede kwaliteit van de equipotentiaalverbindingen en van de aansluiting op de aarding van de massa's van het bedrijf te waarborgen en deze in de tijd te waarborgen. Wanneer de metalen structuren lang zijn (langer dan 10 m), zijn regelmatige aardingen noodzakelijk (om de 10 m).

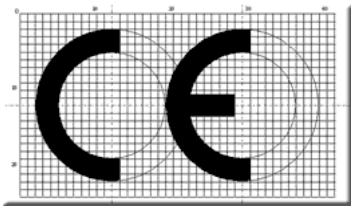


[GPSE]

5.e Technologische storingen

Op regelgevend niveau in Europa regelen de Europese richtlijnen de kwesties rond elektrische veiligheid,[17] elektromagnetische compatibiliteit[18] en conformiteit van radio-elektrische apparatuur[19]. Deze richtlijnen werden omgezet in de Belgische wetgeving.

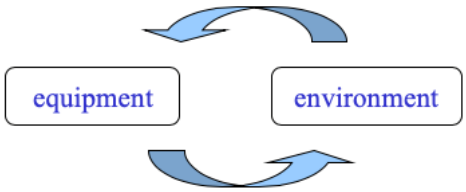
Deze wetgevingen zijn van toepassing op **alle** elektrische en elektronische apparatuur, inclusief die welke aanwezig zijn in landbouwbedrijven. Men kan tal van voorbeelden aanhalen, zoals de melkrobots, de automatische distributeurs, de landbouwmachines, ... inclusief die uitgerust met radiofrequentiesystemen, zoals gps, RFID, …



[Europese Commissie]

[11] 2014/35/EU: Richtlijn 2014/35/EU van het Europees Parlement en de Raad van 26 februari 2014 betreffende de harmonisatie van de wetgevingen van de lidstaten inzake het op de markt aanbieden van elektrisch materiaal bestemd voor gebruik binnen bepaalde spanningsgrenzen.
[18] 2014/30/EU: Richtlijn 2014/30/EU van het Europees Parlement en de Raad van 26 februari 2014 betreffende de harmonisatie van de wetgevingen van de lidstaten inzake elektromagnetische compatibiliteit.
[19] 2014/53/EU: Richtlijn 2014/53/EU van het Europees Parlement en de Raad van 16 april 2014 betreffende de harmonisatie van de wetgevingen van de lidstaten inzake het op de markt aanbieden van radioapparatuur en tot intrekking van Richtlijn 1999/5/EG.

Meer in het bijzonder heeft de elektromagnetische compatibiliteit betrekking op de werking van elektrische en elektronische toestellen in hun omgeving. Een elektrisch toestel kan immers verstoord worden door een elektromagnetisch veld dat uitgestuurd wordt door een ander apparaat (emissie) dat zich in de omgeving ervan bevindt (immuniteit). Deze storingen worden over het algemeen elektromagnetische interferenties genoemd.



[V. Beauvois, ACE - ULiège][20]

De Europese richtlijnen verwijzen naar technische normen (geharmoniseerde Europese normen) om de conformiteit aan te tonen. In het geval van de elektromagnetische compatibiliteit zijn de geharmoniseerde normen productnormen of families van producten of generische producten (die verbonden zijn aan de omgeving waarin de elektronische apparatuur werkt) die zelf verwijzen naar basisnormen.

Van de basisnormen die betrekking hebben op de immuniteit heeft de internationale norm IEC [21] 61000-4-8 betrekking op de magnetische velden met de frequentie van het netwerk (50 Hz in Europa). De meeste[22] conformiteitsnormen van producten verwijzen naar deze basisnorm.

De meeste elektrische en elektronische apparatuur is niet gevoelig voor magnetische velden van 50 Hz die opgewekt worden door bronnen zoals bovengrondse hoogspanningsleidingen. Vroeger kende men de gevoeligheid van kathodeschermen van computers en televisietoestellen voor deze velden (wat niet langer van toepassing is voor de 'moderne' schermen); nu heeft dit type storing enkel nog betrekking op apparatuur die circuits bevat die gevoelig zijn voor magnetische velden met een lage frequentie (voorbeeld: inductieve sensor, sensor met hall-effect in apparatuur zoals bepaalde weegsystemen, inductieve kringen voor parkings of om de bewegingsruimte van een zelfrijdende grasmaaier te beperken).

Men kan hier aan toevoegen dat er ook een regelgeving bestaat voor radiofrequentiesystemen (voorbeelden: gsm, gps, RFID, Bluetooth, Wi-Fi, …). Ze zijn ook onderhevig aan regels inzake prestaties (bijvoorbeeld begrenzing van hun emissiebereik), veiligheid en elektromagnetische compatibiliteit, dit alles via de hiervoor vermelde richtlijn, de Richtlijn 2014/53/EU en tal van specifieke normen die geregeld worden door het ETSI[23] op Europees niveau.

Wanneer de elektronische apparatuur in de brede zin die gebruikt wordt in landbouwbedrijven conform is aan de van kracht zijnde wetgeving (in Europe, EC-markering en conformiteitsverklaring) en ze geïnstalleerd en gebruikt wordt zoals vereist door de fabrikant (zie installatie- en gebruikshandleidingen), zou zich bijgevolg geen enkel probleem met elektromagnetische storing

[20] De pijl bovenaan stemt overeen met de **immuniteit** van de apparatuur ten opzichte van haar omgeving, die onderaan met de **emissie** van elektromagnetische storingen door de apparatuur.
[21] Internationale Elektrotechnische Commissie.
[22] De internationale norm CISPR 14-2 (Elektromagnetische compatibiliteit – Eisen voor huishoudelijke toestellen, elektrisch gereedschap en soortgelijke apparaten – Deel 2: Immuniteit – Productgroepnorm) vermeldt niet de norm IEC 61000-4-8.
[23] Europees Telecommunicatie en Standaardisatie Instituut.

mogen voordoen. Men kan bijvoorbeeld installatieregels aanhalen, zoals de kwaliteit en de regelmatigheid van de aardingen, het gebruik van de aanbevolen soorten kabels (*i.e.* blindering) met de aanbevolen lengtes, …

6. Antwoorden op de initiële vragen

Naar aanleiding van het opmaken van deze synthese is elke vraag individueel opgenomen en besproken. Er is een specifieke analyse uitgevoerd om een zo duidelijk en beknopt mogelijk antwoord aan te reiken. Tot slot werden voor elk ervan de eventuele noodzakelijke aanbevelingen gedaan.

Voorwoord

Het is van essentieel belang te begrijpen dat het antwoord op deze vragen en deze volledige studie de enige bron van de hoogspanningslijn in ogenschouw nemen, dus enkel de directe en indirecte effecten in termen van elektrische en magnetische velden van 50 Hz.
De studie heeft geen betrekking op de andere bronnen of op andere activiteiten die aanwezig zijn in de complexe omgeving, zijnde een landbouwbedrijf, waarvan de herkomsten veelvoudig zijn en moeilijk te isoleren zijn van elkaar.

Vraag 1

Q1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op de gezondheid van de landbouwer en/of fokker?
Q2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden? Zo ja, met welke gevolgen?
Q3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?
Q4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

Analyse

Op basis van de synthese 5a, wordt al langer dan 40 jaar wetenschappelijke onderzoek uitgevoerd naar de potentiële gevolgen van elektromagnetische velden met een lage frequentie voor de menselijke gezondheid. Verschillende van deze studies hebben de potentiële band geanalyseerd tussen de magnetische en elektrische ELF-velden (hier 50 Hz) en de gezondheid. Ze laten niet toe te besluiten dat er een oorzakelijk verband bestaat tussen de velden en de gezondheid, behalve voor de kortetermijneffecten (enkele uren/dagen) op het niveau van een hoog veld (> 1.000 µT), zoals voor de magnetofosfenen.

De internationale normen en aanbevelingen die zijn vastgelegd voor een MV van 100-200 µT en voor een EV van 5.000 V/m houden rekening met de staat van kennis ter zake.

Afgezien van kinderleukemie, waar aanzienlijk lagere aanbevelingen, namelijk 0,4 µT, worden vermeld in de literatuur uitsluitend op basis van epidemiologische studies (wat geleid heeft tot een classificatie 2b door het IARC), biedt geen enkel ander bestudeerd effect (tumor in het centraal zenuwstelsel bij kinderen, tumor in het centraal zenuwstelsel, ziekte van Alzheimer, ziekte van Parkinson, ...) in de literatuur de mogelijkheid te besluiten tot het al dan niet bestaan van een effect van de velden.

Antwoorden

Q1. Volgens de geraadpleegde literatuur is het antwoord op de vraag neen.

Q2. De geraadpleegde literatuur laat niet toe deze vraag te beantwoorden.

Men spreekt vaak over het krooneffect als een verschijnsel dat het meest aanwezig is in een vochtige omgeving rond bovengrondse lijnen (waterdruppels, sneeuwvlokken, ...). Dit verschijnsel van lawaai is te wijten aan een verschijnsel van gedeeltelijke elektrische ontladingen rond de geleiders van bovengrondse lijnen. Dit verschijnsel zorgt lokaal voor een toename van het elektrisch veld in de nabijheid van de lijnen. Dit heeft a priori geen enkele impact op de gezondheid.

Q3. Bij afwezigheid van een effect van de velden die rechtstreeks opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen op de gezondheid, kan op deze vraag geen antwoord worden gegeven.

Q4. Men kan hier de aanbevelingen van de WGO vermelden:

- Het opvolgen van de wetenschappelijke evolutie
- Het promoten van onderzoeksprogramma's om de onzekerheid omtrent de wetenschappelijke elementen met betrekking tot de gezondheidseffecten van blootstelling aan ELF-velden te verminderen.
- Een doeltreffende en open communicatie met alle betrokken partijen om met kennis van zaken beslissingen te nemen (zoals dit voor dit dossier het geval is).

Vraag 2

Q1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op de gezondheid, de stress en het dierenwelzijn?
Q2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden? Zo ja, met welke gevolgen?
Q3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?
Q4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

Analyse voor de directe effecten

Hoewel globaal genomen wordt toegelaten dat MV's met een intensiteit van meer dan 100 μT die opgewekt worden door bovengrondse elektrische hoogspanningslijnen of lijnen onder zeer hoge spanning van 50-60 Hz verstoringen veroorzaken van de cellulaire werking van dieren, worden de effecten op de gezondheid, de stress en het dierwelzijn van MV's met een lagere intensiteit nog altijd besproken door de wetenschappelijke gemeenschap, vooral voor de waarden lager dan 10 μT. Bovendien wordt geen enkel plausibel biologische mechanisme dat de effecten die veroorzaakt worden door velden van minder dan 10 μT verklaren, voorgesteld door de geraadpleegde literatuur.

De ELF EV's en MV's die rechtstreeks opgewekt worden door de hoogspanningslijnen van 50 Hz in de nabijheid van landbouwbedrijven (*i.e.* op minder dan 200 m) werden gemonitord in één enkele Franse studie en overschrijden loodrecht onder de lijnen niet de intensiteitswaarden van 8 μT voor het magnetisch veld en 5000 V/m voor het elektrisch veld. Het feit verder af gelegen te zijn van de lijn zorgt voor een snelle afname van de intensiteit van de velden. Bovendien wordt volgens deze monitoring het rechtstreeks opgewekt EV sterk verminderd binnen in de gebouwen (minder dan 43 V/m), terwijl de maximale intensiteit van het MV binnen in de gebouwen lager blijft dan 3 μT.

De daadwerkelijke blootstelling van dieren aan ELF EV's en MV's die opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge of zeer hoge spanning van 50-60 Hz is slecht gedocumenteerd, terwijl deze parameter van cruciaal belang blijft om de effecten ervan op de dieren te kunnen evalueren. Eén enkele studie heeft een kadaster opgemaakt van de blootstelling aan ELF

MV's van koeien in Franse bedrijven in de nabijheid van bovengrondse transportlijnen voor elektriciteit met hoge en zeer hoge spanning, maar wel fragmentarisch (aantal dieren en duur van de metingen). De maximale intensiteiten van de ELF MV's die ontvangen worden door de opgevolgde dieren ligt tussen 0,8 en 3 μT en gemiddeld genomen voor de dag worden de dieren het vaakst blootgesteld aan ELF MV's tussen 0 en 0,42 μT. Ten aanzien van de bedrijven die verder afgelegen zijn van de lijnen, toont het kadaster aan dat de intensiteiten van de ELF MV's waaraan de koeien worden blootgesteld 4 tot 10 keer hoger liggen in bedrijven in de nabijheid van de lijnen.

Er werd geen enkel kadaster opgemaakt voor de andere dieren die mogelijk aanwezig zijn in de landbouwbedrijven.

Geen enkel gegeven uit de geraadpleegde literatuur laat toe te besluiten tot mogelijke directe effecten op de gezondheid, de stress en het welzijn van dieren, hetzij in het gebouw, hetzij buiten het gebouw door ELF EV's die rechtstreeks opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge of zeer hoge spanning van 50-60 Hz in de nabijheid van de landbouwbedrijven.

Antwoord voor de directe effecten

Q1. Volgens de geraadpleegde literatuur is het antwoord op de vraag neen.
Q2. De geraadpleegde literatuur laat niet toe deze vraag te beantwoorden. Dit aspect valt buiten onze bevoegdheden.
Q3. Gelet op de afwezigheid van effecten van velden die rechtstreeks opgewekt worden door de bovengrondse lijnen op deze parameters, kan op deze vraag geen antwoord worden gegeven.
Q4. De directe effecten van magnetische velden worden merendeels bestudeerd in een perfect gecontroleerde situatie. De zwakke punten van de wetenschappelijke literatuur zijn:

- Weinig studies over boerderijdieren, waaronder pluimvee en varkens. Ten aanzien van runderen hebben deze dieren een hogere elektrische weerstand die hen minder gevoelig maakt voor de effecten van ELF MV's.
- Inductie van ELF MV voor korte periodes (enkele uren per dag *vs.* enkele dagen tot enkele weken). De blootstelling in dit geval wordt gekwalificeerd als acuut in tegenstelling tot een chronische blootstelling die betrekking heeft op een groot deel van het leven van het dier.
- De geraadpleegde experimenten bestuderen nooit de effecten van ELF MV's die in de tijd kunnen variëren afhankelijk van de hoeveelheid stroom die in de elektriciteitslijn transiteert. Deze variatie van het veld kan mogelijk een negatieve invloed hebben op de aanpassingsmechanismen van de dieren voor veroorzaakte verstoringen, hoe zwak deze ook zijn.

Aanbeveling voor de directe effecten

Om de dubbelzinnigheden met betrekking tot de potentiële effecten van ELF MV's op de gezondheid, de stress en het welzijn van boerderijdieren weg te nemen, bevelen we aan een monitoring uit te voeren over een lange duur (*i.e.* meerdere maanden) van de intensiteit van de ELF MV's die rechtstreeks opgewekt worden door de bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge en zeer hoge spanning in de nabijheid van deze lijnen.

- Een monitoring uitvoeren van de velden die opgewekt worden door de hoogspanningslijnen in de nabijheid (*i.e.* op minder dan 200 m) van de landbouwbedrijven en de graslanden die gebruikt worden door de dieren. Deze monitoring moet beoogd worden op lange termijn (*i.e.* meerdere maanden) om de tijdelijke en ruimtelijke variaties goed te kunnen identificeren afhankelijk van de afstanden ten opzichte van de lijn, alsook de maximale waarden van de magnetische velden afhankelijk van de exploitatie van de lijnen. Dit werk zal toelaten de potentiële blootstelling van de dieren aan de ELF EV's en MV's die rechtstreeks opgewekt worden door de lijnen, goed te definiëren om deze resultaten te confronteren met de

verwachte biologische effecten die worden aangetoond door de experimenten in een gecontroleerde situatie.

- Het zou ook relevant zijn de ELF EV's en MV's te meten die opgewekt worden door de bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge en zeer hoge spanning in de gebouwen waarin de dieren verblijven en dit los van de velden die gecreëerd worden door het elektriciteitsnet en het elektrisch materiaal van het landbouwbedrijf.
- Deze monitoring moet ook worden aangevuld door een monitoring van de dieren om hun daadwerkelijke blootstelling aan de MV's te bepalen op basis van de bron van de velden en hun bewegingen binnen en buiten de gebouwen, wetende dat hun bewegingen de intensiteit van de ELF EV's en MV's die een impact op hen hebben, in de tijd kunnen moduleren.

Vraag 3

Q1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op de zoötechnische prestaties?
Q2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden? Zo ja, met welke gevolgen?
Q3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?
Q4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

Analyse van de directe effecten

De wetenschappelijke literatuur van voor 2015 toont geen negatieve directe effecten aan van ELF EV's en MV's die opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge of zeer hoge spanning van 50-60 Hz op de zoötechnische prestaties van boerderijdieren.

Voor zover de auteurs weten, heeft geen enkele wetenschappelijke studie van na 2015 de directe effecten bestudeerd van de ELF EV's en MV's die opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge of zeer hoge spanning van 50-60 Hz op de zoötechnische prestaties van boerderijdieren.

Antwoord voor de directe effecten

Q1. Volgens de geraadpleegde literatuur is het antwoord op de vraag neen.
Q2. De geraadpleegde literatuur laat niet toe deze vraag te beantwoorden. Dit aspect valt buiten onze bevoegdheden.
Q3. Gelet op de afwezigheid van effecten van velden die rechtstreeks opgewekt worden door de bovengrondse lijnen op deze parameters, kan op deze vraag geen antwoord worden gegeven.
Q4. De directe effecten van ELF EV's en MV's worden merendeels bestudeerd in een perfect gecontroleerde situatie. De zwakke punten van de wetenschappelijke literatuur zijn:

- Weinig studies over boerderijdieren in een gecontroleerde situatie.
- Inductie van ELF MV voor korte periodes (enkele uren per dag *vs.* enkele dagen tot enkele weken). De blootstelling in dit geval wordt gekwalificeerd als acuut in tegenstelling tot een chronische blootstelling die betrekking heeft op een groot deel van het leven van het dier.
- De geraadpleegde experimenten bestuderen nooit de effecten van ELF MV's die in de tijd kunnen variëren afhankelijk van de hoeveelheid stroom die in de elektriciteitslijn transiteert. Deze variatie van het veld kan mogelijk een negatieve invloed hebben op de aanpassingsmechanismen van de dieren voor veroorzaakte verstoringen, hoe zwak deze ook zijn.

Het antwoord is eveneens neen voor de indirecte effecten van MV's in de stal wanneer en enkel wanneer de elektrische installatie van de gebouwen volledig conform is, teneinde de effecten te kunnen annuleren van parasietstromen die opgewekt worden door deze MV's op de verschillende metalen structuren die we erin kunnen terugvinden: geraamten, voerhekken, melkstal, waterleidingen, drinktroggen, eettroggen, elektrische afsluitingen enz. Concreet betekent dit:

- Doeltreffende aarding van de installaties.
- Weerstand van de aardingsstekker ≤ 18 Ω.
- Equipotentiaalverbindingen ≤ 0,2 Ω.

Het antwoord is daarentegen ja voor de indirecte effecten van de MV's in de stal wanneer de elektrische installatie niet conform is of deze met de tijd gewijzigd of beschadigd is geweest.

Het antwoord is ook ja wanneer de werking van de hoogspanningslijn zwerfstromen opwekt die binnenkomen in het bedrijf via zijn aardlijn of wanneer de aan het bedrijf geleverde stroom vervuild is door stromen met een hoge frequentie (transiënten en harmonischen), van verschillende potentiële herkomsten: industrieën die aangesloten zijn op de hoogspanningslijn na transformatie van de stroom, optische vezels rond de kabels van de hoogspanningslijn, verbindingsantennes voor mobiele telefonie (4G en/of 5G) die op de masten van de hoogspanningslijn of in de nabije omgeving zijn geplaatst ... De voorziene frequentiebanden voor 5G liggen tussen 700 Mhz en 26 Ghz, terwijl ze voor 4G tussen 700 en 2.600 MHz liggen.

De volgende symptomen zouden bijgevolg waargenomen kunnen worden en moeten beschouwd worden als potentiële waarschuwingssignalen:

- Gedragswijzigingen: toename van de melktijd, onvolledig leegmaken van de uiers, extreme nervositeit in de melkstal, afkeer om de melkstal te betreden, snel verlaten van de melkstal, terughoudendheid om metalen drinktroggen of eettroggen te gebruiken, gewijzigd gedrag van het rund (koeien die het water in de drinktrog plonzen), onophoudelijk ijsberen, onbedoeld zwaaien met de staart, stampen geven aan de melkers.
- Productieprestaties: afwisselende periodes van daling van de melkproductie, onvoldoende melkproductie die niet verklaard kan worden, plotse en sterke daling van de melkproductie.
- Gezondheidsproblemen: rillingen, borstelige haren, toename van het aantal voorvallen van mastitis, hoge cellulaire percentages (subklinische mastitis), opgezwollen hakken, blessures aan de hoeven die niet reageren op behandelingen met antibiotica, abortussen, doodgeboren kalveren, manken, hogere sterfte over een korte periode.

Aanbeveling voor de directe effecten

Om de dubbelzinnigheden met betrekking tot de potentiële effecten van ELF MV's op de zoötechnische prestaties van boerderijdieren weg te nemen, bevelen we aan een monitoring uit te voeren over een lange duur (*i.e.* meerdere maanden) van de intensiteit van de ELF MV's die rechtstreeks opgewekt worden door de bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge en zeer hoge spanning in de nabijheid van deze lijnen.

- Een monitoring uitvoeren van de velden die opgewekt worden door de hoogspanningslijnen in de nabijheid (*i.e.* op minder dan 200 m) van de landbouwbedrijven en de graslanden die gebruikt worden door de dieren. Deze monitoring moet beoogd worden op lange termijn (*i.e.* meerdere maanden) om de tijdelijke en ruimtelijke variaties goed te kunnen identificeren afhankelijk van de afstanden ten opzichte van de lijn, evenals de maximale waarden van de magnetische velden afhankelijk van de exploitatie van de lijnen. Dit werk zal toelaten de potentiële blootstelling te definiëren van de dieren aan de ELF EV's en MV's die rechtstreeks opgewekt worden door de lijnen, om deze resultaten te confronteren met de verwachte biologische effecten die worden aangetoond door de experimenten in een gecontroleerde situatie.
- Het zou ook relevant zijn de ELF EV's en MV's te meten die opgewekt worden door de bovengrondse elektriciteitslijnen met een hoge en zeer hoge spanning in de gebouwen waarin de dieren verblijven, en dit los van de velden die gecreëerd worden door het elektriciteitsnet en het elektrisch materiaal van het landbouwbedrijf.
- Deze monitoring moet ook worden aangevuld door een monitoring van de dieren om hun daadwerkelijke blootstelling aan de MV's te bepalen afhankelijk van de bron van de velden en hun bewegingen binnen en buiten de gebouwen, wetende dat hun bewegingen de intensiteit van de ELF EV's en MV's die een impact op hen hebben, in de tijd kunnen moduleren.

Om elke polemiek te vermijden ingeval dergelijke problemen, die tot dan toe afwezig zijn, zich zouden voordoen in bedrijven, ongeacht of deze over een conforme of niet conforme elektrische installatie beschikken, kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd:

1) Uitvoeren van een audit voorafgaand aan de bouw van de hoogspanningslijn waarin de gezondheidssituatie, het gedrag van de dieren en hun zoötechnische prestaties worden opgenomen in alle bedrijven die op minder dan 250 meter van beide zijden van de as van de hoogspanningslijn zijn gelegen.

2) Aan deze bedrijven een voorafgaande elektrische diagnose voorstellen, bij voorkeur bij vochtig weer, met betrekking tot alle boerderijgebouwen alsook het woonhuis.

3) In voorkomend geval de elektrische installatie van deze bedrijven in overeenstemming brengen met de normen.

4) Uit deze een bedrijf dat volledig aangesloten is op de aarding selecteren als controlebedrijf.

4) Voor dezelfde bedrijven, op het einde van het eerste jaar van exploitatie van de hoogspanningslijn, de gedrags-, gezondheids- en zoötechnische audit herhalen, alsook de elektrische diagnose.

5) In de controleboerderij een continue monitoring uitvoeren van de blootstelling van de dieren aan EMV's binnenshuis en buitenshuis, aan stap- en contactspanningen, en dit minstens in de stalling en de melkstal. Om de spanningen te meten, dient eerder een oscilloscoop te worden gebruikt dan een digitale voltmeter om de piekspanning te kunnen bepalen (significanter dan de gemiddelde spanning). Het is ook aangewezen er de harmonischen te meten (oscilloscoop en digitaal analysetoestel). Deze laatste aanbeveling zou vrij origineel zijn en toelaten zich te vergewissen van de kwaliteit van de geleverde stroom.

Vraag 4

Q1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op de kwaliteit en de kwantiteit van de plantaardige producties?
Q2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden? Zo ja, met welke gevolgen?
Q3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?
Q4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

Analyse voor de directe effecten

Bij planten kunnen ELF MV's van enkele µT biologische parameters wijzigen zonder evenwel aangetoonde effecten te hebben op de plantaardige productie voor deze kwantitatieve aspecten. Enkele terreinstudies hebben betrekking op een lange termijn (*i.e.* de duur van de teelt van de plant) en houden zeker en vast rekening met het afwisselend karakter van ELF MV's afhankelijk van de hoeveelheid stroom die in de elektriciteitslijn transiteert.
Een studie over 5 jaar toonde aan dat het rendement van een van de 2 geteste planten negatief beïnvloed werd (7% minder productie voor wintertarwe) in de nabijheid van de lijn (op 2 meter van de lijn vs. 8, 12 en 40 m). Op 2 m van de lijn bedroegen de intensiteiten van de velden 4 kV/m voor de EV's en 3 µT voor de MV's.
Rond de kwalitatieve aspecten van de plantaardige producties zijn voor zover wij weten nooit experimenten uitgevoerd.

Antwoord voor de directe effecten

Q1. Volgens de geraadpleegde literatuur is het antwoord op de vraag neen.
Q2. De geraadpleegde literatuur laat niet toe deze vraag te beantwoorden. Dit aspect valt buiten onze bevoegdheden.
Q3. Bij afwezigheid van een effect van de velden die rechtstreeks opgewekt worden door bovengrondse elektriciteitslijnen op de kwantiteit en de kwaliteit van de plantaardige producties, kan op deze vraag geen antwoord worden gegeven.
Q4. Rond slechts 2 planten van grote teelten (*i.e.* maïs en tarwe) werd in een halfgecontroleerd milieu een experiment uitgevoerd en het rendement van een van de 2 planten is negatief beïnvloed (7% minder voor tarwe) op een afstand van 2 m ten opzichte van de lijn. Dit type van experiment zou uitgevoerd moeten worden rond andere planten van grote teelten.

Aanbeveling voor de directe effecten

De voorgestelde monitoring in het kader van effecten op de dieren zal toelaten de intensiteiten te objectiveren van de ELF EV's en MV's afhankelijk van de afstand ten opzichte van de lijn en hun tijdelijke variatie afhankelijk van de hoeveelheid stroom die in de elektriciteitslijn transiteert.

Er zouden tests in velden met planten van grote teelten uitgevoerd moeten worden om de effecten te bestuderen van ELF EV's en MV's die opgewekt worden door bovengrondse hoogspanningslijnen op de rendementen van teelten en de kwaliteit van de producten die afkomstig zijn van deze teelten. Wel moet in het achterhoofd worden gehouden dat alle andere factoren, waaronder de pedologische omstandigheden en de andere elektromagnetische storingen die een invloed kunnen hebben op de antwoordparameters, perfect beheerst moeten worden. Dit type studie moet overigens herhaald

worden over meerdere jaren om het effect van het jaar op de bestudeerde parameters tot een minimum te beperken.

Vraag 5

Q1. Kan de exploitatie van een hoogspanningslijn (380 kV, vermogen van 6 GW) een impact hebben op het gebruik van instrumenten die in de bedrijven aanwezig zijn (gps, drones, tractoren, melkrobots, drenkplaatsen, mechanische of elektronische instrumenten enz.)?
Q2. Kunnen de klimatologische en/of meteorologische omstandigheden deze effecten beïnvloeden? Zo ja, met welke gevolgen?
Q3. Voor de effecten die duidelijk naar voor komen, welke zijn de maatregelen die moeten toelaten deze effecten en de gevolgen ervan te vermijden of te verminderen?
Q4. Laat de wetenschappelijke literatuur toe duidelijke antwoorden op deze vragen aan te reiken? Zo niet, wat zou dan moeten worden ingevoerd?

Analyse

Op basis van de paragrafen 5.e, wanneer de elektronische apparatuur in de brede zin die gebruikt wordt in landbouwbedrijven conform is aan de van kracht zijnde wetgeving (in Europe, EC-markering en conformiteitsverklaring) en ze geïnstalleerd en gebruikt wordt zoals vereist door de fabrikant (zie installatie- en gebruikshandleidingen), zou geen enkel probleem met elektromagnetische storing zich mogen voordoen. Men kan bijvoorbeeld installatieregels aanhalen, zoals de kwaliteit en de regelmatigheid van de aardingen, het gebruik van de aanbevolen soorten kabels (*i.e.* blindering) met de aanbevolen lengtes, …
We hebben ook aangedrongen op de regels voor een 'goede' elektrische installatie in paragraaf 5.d.

Antwoord

Q1. Volgens de geraadpleegde wetgeving en indien de hierboven vermelde regels in acht worden genomen, is het antwoord op de vraag neen.
Q2. De geraadpleegde literatuur laat niet toe deze vraag te beantwoorden.
Het is van essentieel belang dat de conformiteit van de elektrische installaties duurzaam is in de tijd en/of op periodieke basis wordt gecontroleerd.
Het is namelijk zo dat in landbouwbedrijven sommige verschijnselen gevolgen kunnen hebben, zoals onweders, vocht, stof, roestvorming, ... Dit alles versnelt de veroudering en de aantasting van de diverse metalen structuren (voorbeelden: voerhekken, drinkbakken, afsluitingen) en vermindert de kwaliteit van de aardingen, de contactpunten, de aansluitingen, ...
Q3. Het is van essentieel belang om het volgende te hebben:
- Conforme elektrische installaties of elektrische installaties die conform zijn gemaakt.
- Wanneer de metalen structuren lang zijn (langer dan 10 m), zijn regelmatige aardingen noodzakelijk (om de 10 m).
- Materiaal dat in overeenstemming is met de Europese wetgeving.

Q4. Voor zover wij weten is er weinig of geen specifieke literatuur over dit onderwerp.

7. Referenties en bibliografie

7.1 Referenties en bibliografie - Deel 5.a

1. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.

2. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). Health Physics 99(6):818-836; 2010.

3. Aanbevelingen van de Raad van de Europese Unie van 12 juli 1999 betreffende de beperking van de blootstelling van het publiek aan elektroniche velden (van 0 Hz tot 300 Ghz), gepubliceerd in het Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen van 30 juli 1999 (1999/519/EG).

4. WGO - Aide-mémoire nr. 322 van juni 2007 - Elektromagnetische velden en volksgezondheid - Blootstelling aan extreem laagfrequente velden.

5. WGO - Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria, Vol. 238. Genève, Wereldgezondheidsorganisatie, 2007.

6. Report on risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised version), European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2012).

7. Report on risk analysis of human exposure to electromagnetic fields, European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2010).

8. Report on the analysis of risks associated to exposure of EMF: in vitro and in vivo (animals) studies, European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN, 2010).

9. Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), European Commission – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR, 2015).

10. ANSES, Effets sanitaires liés à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences, Avis de l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire - Alimentation, Environnement, Travail), Rapport d'expertise collective, 2019.

7.2 Referenties en bibliografie - Deel 5.b

11. ANSES, 2015. Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques. Advies van het Anses. Verslag van collectieve expertise. Augustus 2015, 169 p. Beschikbaar op https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2013sa0037Ra.pdf

12. MALKEMPER E. P., TSCHEULIN Th., VANBERGEN A. J., VIAN A., BALIAN E., GOUDESEUNE L., 2018. The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Current knowledge overview: a background document to the web conference. A report of the EKLIPSE

project, 32 p. Beschikbaar op http://www.eklipse-mechanism.eu/documents/15803/0/EMR-KnowledgeOverviewReport_FINAL_27042018.pdf/1326791c-f39f-453c-8115-0d1c9d0ec942

13. GOUDESEUNE L., BALIAN E., VENTOCILLA J., 2018. The impacts of artificial Electromagnetic Radiation on wildlife (flora and fauna). Report of the web conference. A report of the EKLIPSE project; 32 p. Beschikbaar op http://www.eklipse-mechanism.eu/documents/15803/0/EMR-KnowledgeOverviewReport_FINAL_27042018.pdf/1326791c-f39f-453c-8115-0d1c9d0ec94

14. Biasotto, L.D., Kindel, A., 2018. Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. Environmental Impact Assessment Review, 71, pp. 110-119. Cited 5 times.

15. Adair, R., 2000. Static and low-frequency magnetic field effects: Health risks and therapies. Reports on Progress in Physics, 63, 415–454. Cited 34 times.

16. Belova, N.A., Ermakova, O.N., Ermakov, A.M., Rojdestvenskaya, Z.Ye., Lednev, V.V., 2007. The bioeffects of extremely weak power-frequency alternating magnetic fields. Environmentalist, 27 (4), pp. 411-416. Cited 29 times.

17. Belova, N.A., Acosta-Avalos, D., 2015 The effect of extremely low frequency alternating magnetic field on the behavior of animals in the presence of the geomagnetic field. Journal of Biophysics, art. no. 423838. Cited 2 times.

18. Wang, H., Zhang, X., 2017. Magnetic fields and reactive oxygen species. International Journal of Molecular Sciences, 18 (10), art. no. 2175. Cited 37 times.

19. Lai, H., 2019. Exposure to Static and Extremely-Low Frequency Electromagnetic Fields and Cellular Free Radicals. Electromagnetic Biology and Medicine, 38 (4), pp. 231-248. Cited 0 time.

20. Hore P.J., 2019. Upper bound on the biological effects of 50/60 Hz magnetic fields mediated by radical pairs. eLife, 8:e44179. Cited 0 time.

21. Vanderstraeten J., 2017. Champs magnétiques et santé : de l'épidémiologie à la chimie des cryptochromes. Rev. Med. Brux., 38, 79-89. Cited 3 times.

22. Lundberg, L., Sienkiewicz, Z., Anthony, D.C., Broom, K.A., 2019. Effects of 50 Hz magnetic fields on circadian rhythm control in mice. Bioelectromagnetics, 40 (4), pp. 250-259. Cited 0 time.

23. Kolbabová, T., Malkemper, E.P., Bartoš, L., Vanderstraeten, J., Turčáni, M., Burda, H., 2015. Effect of exposure to extremely low frequency magnetic fields on melatonin levels in calves is seasonally dependent. Scientific Reports, 5, art. no. 14206. Cited 3 times.

24. Laszlo, A.M., Ladanyi, M., Boda, K., Csicsman, J., Bari, F., Serester, A., Molnar, Z., Sepp, K., Galfi, M., Radacs, M., 2018. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on turkeys. Poultry Science, 97 (2), pp. 634-642. Cited 1 time.

25. Ruan, G., Liu, X., Zhang, Y., Wan, B., Zhang, J., Lai, J., He, M., Chen, C., 2019. Power-frequency magnetic fields at 50 Hz do not affect fertility and development in rats and mice. Electromagnetic Biology and Medicine, 38 (1), pp. 111-122. Cited 2 times.

26. Pietruszewski, S., Martínez, E., 2015. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review. International Agrophysics, 29 (3), pp. 377-389. Cited 17 times.

27. Radhakrishnan, R., 2019. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. Physiology and Molecular Biology of Plants, 25 (5), pp. 1107-1119. Cited 0 time.

28. Teixeira da Silva, J.A., Dobránszki, J., 2016. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? Protoplasma, 253 (2), pp. 231-248. Cited 26 times.

29. Soja, G., Kunsch, B., Gerzabek, M., Reichenauer, T., Soja, A.-M., Rippar, G., Bolhàr-Nordenkampf, H.R., 2003. Growth and Yield of Winter Wheat (Triticum aestivum L.) and Corn (Zea mays L.) Near a High Voltage Transmission Line. Bioelectromagnetics, 24 (2), pp. 91-102. Cited 22 times.

30. Mahmood, M., Bee, O.B., Mohamed, M.T.M., Subramaniam, S., 2013. Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll content and peroxidase enzyme activity in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) leaves. Emirates Journal of Food and Agriculture, 25 (6), pp. 471-482. Cited 3 times.

31. Aksoy, H., Unal, F., Ozcan, S., 2010. Genotoxic effects of electromagnetic fields from high voltage power lines on some plants. International Journal of Environmental Research, 4 (4), pp. 595-606. Cited 10 times.

32. Dannehl, D., 2018. Effects of electricity on plant responses. Scientia Horticulturae, 234, pp. 382-392. Cited 3 times.

7.3 Referenties en bibliografie - Deel 5.c

33. Aneshansley D.J., Gorewit R.C. Sensitivity of Holsteins to 60 Hz and other waveforms present on dairy farms. 1999, ASAE/CSAE-SCGR International Meeting, paper N° 993152, 2950 Niles Rd., St Joseph, MI, USA.

34. ANSES (collectif). Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques. Août 2015.

35. Appleman R.D., Gustafson R.J. Source of stray voltage and effect on cow health and performance. J. Dai. Sci., 1985, 68 : 1554-1567:

36. Burchard J.F., Nguyen D.H. Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows. J. Dai. Sci., 1996, 79 : 1549-1554:

37. Erdreich L.S., Alexander D.D., Wagner M.E., Reinemann D. Meta-analysis of stray voltage on dairy cattle. J. Dai. Sci., 2009, 92 : 5951-5963:
38. Hillman D., Stetzer D., Graham M., Goeke C.L., Mathson K.E., VanHorn H.H., Wilcox C.J. Relationship of electric power quality to milk production of dairy herds – Field study with literature review. Science of the Total Environment, 2013, 447 : 500-514:

39. Hultgren J. Small electric currents affecting farm animals and man: a review with special reference to stray voltage. II. Physiological effects and the concept of stress. Vet. Com., 1990, 14 : 299-308:

40. Norell R.J., Gustafson R.J., Appleman R.D., Overmier J.B. Behavioral studies of dairy cattle sensitivity to electrical currents. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 1983, 26 : 1506-1511:

41. Reilly J.P. Electrical stimulation and electropathology. 1992, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 524.

42. Reinemann D.J. Stray voltage and milk quality. A review. Vet. Clin. North Am., Food Anim., 2012, 28 : 321-345:

43. Rigalma K., Duvaux-Ponter C., Oliveira A., Martin O., Louyot T., Deschamps F., Roussel S. Determination of a stray voltage threshold in Holstein heifers, influence of predictability and past experience on behavioural and physiological responses. Animal Welfare, 2011, 20 : 385-395:

44. Sheppard A.R., Eisenbud M. Biological effects of electric and magnetic fields of extremely low frequency. 1977, New York University Press, New York.

45. Stetzer D., Leavitt A.M., Goeke C.L., Havas M. Monitoring and remediation of on-farm and off-farm ground current measured as step potential on a Wisconsin dairy farm: a case study. Electromagnetic Biology and Medicine, 2016, 35 : 321-336:

Opmerking: sommige referenties zijn rechtstreeks in de voetnoten opgenomen in de hoofdtekst van het document.

- Websites

BBEMG (Belgian BioElectroMagnetics Group) - https://www.bbemg.uliege.be

WGO (Wereldgezondheidsorganisatie) - http://www.who.int/fr/ en meer in het bijzonder http://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/fr/

ICNIRP (Internationale Commissie voor de Bescherming tegen Niet-Ioniserende Stralingen) - http://www.icnirp.de/

CIRC (Internationaal Centrum voor Kankerondezoek) - http://www.iarc.fr/indexfr.php

GPSE (Groupement Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole) – www.gpse.fr

Glossarium

ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
EV	Elektrisch veld
IARC	Internationaal Centrum voor Kankeronderzoek
MV	Magnetisch veld
EBF	Extrêmement Basse Fréquence
EFHRAN	European Health Risk of Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure
ELF	Extreem laagfrequent
FWA	Fédération Wallonne de l'Agriculture

GPSE[24]	Groupe Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole
ICNIRP	Internationale Commissie voor de Bescherming tegen Niet-Ioniserende Stralingen
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
HSL	Hoogspanningslijn
WGO	Wereldgezondheidsorganisatie
SCENHIR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

[24] Courants électriques parasites en élevage – Connaître et maîtriser, GPSE, 2019.

Aanbevelingen over effecten op landbouw door hoogspanningsinfrastructuur

Inhoudstafel

Inhoudstafel 1

1 Inleiding 2

1.1 Voorgeschiedenis 2

1.2 Studie ILVO 2

1.3 Studie ULg 2

1.4 Doelstelling van de aanbevelingen 3

2 Wetenschappelijke kennis 4

2.1 Inleiding 4

2.2 Effecten op gezondheid van landbouwers 4

2.3 Effecten op dierlijke productie 5

2.4 Effecten op plantaardige productie en bodem 6

2.5 Effecten op agrarische constructies 6

2.6 Effecten op landbouwtoestellen en -technologie 6

2.7 Conclusie 7

3 Aanbevelingen 8

3.1 Aanbevelingen voor de tracébepaling voor het GRUP Ventilus 8

3.2 Aanbevelingen voor het plan/project Ventilus 9

3.3 Aanbevelingen voor alle hoogspanningsprojecten 10

3.4 Aanbevelingen om kennis inzake de mogelijke impact van hoogspanningslijnen en -kabels op de landbouw systematisch op te bouwen 12

4 Bijlagen 15

4.1 Bijlage 1 De impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering. ILVO 2021. 15

4.2 Bijlage 2 Effets potentiellement générés par l'exploitation d'une ligne électrique aérienne à haute tension sur les exploitations agricoles situées à proximité. ULiège 2020. 15

1 Inleiding

1.1 Voorgeschiedenis

Tijdens de **publieke consultatie voor het GRUP Ventilus** in de lente van 2019 werden veel vragen verzameld over de impact van hoogspanningsinfrastructuur op landbouwactiviteiten. De vragen gingen over mogelijke effecten op landbouwactiviteiten, impact op welzijn en productiviteit van landbouwdieren, impact op groei en opbrengst van landbouwgewassen, op gebouwen, op technologie en mogelijkheden naar toekomstige ontwikkelingen. Deze vragen werden gesteld in kader van zowel bovengrondse hoogspanningslijnen als ondergrondse kabels.

1.2 Studie ILVO

Een groot deel van de vragen werd voor het eerst vanuit de landbouwsector gesteld. De landbouwfederaties hebben daarom gevraagd om **bijkomend wetenschappelijk literatuuronderzoek** te laten uitvoeren door het ILVO, het *instituut voor landbouw-, visserij- en voedingsonderzoek*.

Na een gezamenlijk overleg tussen de Boerenbond, het Algemeen Boerensyndicaat, het Departement Landbouw en Visserij, het Departement Omgeving, Elia en het ILVO werd beslist om een studie (zie bijlage 1) op te starten met een **tweevoudige doelstelling**:

- Enerzijds tot een overzicht komen van **bestaande wetenschappelijke kennis** rond de impact van hoogspanning (zowel boven- als ondergronds) op diverse aspecten van landbouw. Op die manier kan objectieve wetenschappelijke kennis aangeleverd worden over bezorgdheden die leven bij landbouwers. Deze wetenschappelijke kennis kan ook gebruikt worden in het onderzoek van het plan-MER en de MKBA.
- Anderzijds **in dialoog met landbouwers** gaan die reeds onder of nabij hoogspanningsinfrastructuur wonen en werken. Via diepte-interviews worden hun ervaringen, eventuele problemen of aandachtspunten in kaart gebracht. Op die manier wordt geprobeerd om een exhaustiever beeld te krijgen op de relatie tussen de hoogspanningsverbindingen en het landbouwbedrijf.

Een stuurgroep werd opgericht om deze studie op te volgen. Hierin waren het Departement Omgeving, het Departement Landbouw & Visserij, Boerenbond, het Algemeen Boerensyndicaat en Elia vertegenwoordigd.

1.3 Studie ULg

Parallel aan de studie van het ILVO is een deels gelijkaardige studie uitgevoerd door de *Université de Liège* (ULg) (zie bijlage 2). Dit onderzoek werd door de *Fédération Wallonne des Agriculteurs* en Elia opgestart om een antwoord te kunnen geven op de vragen van Waalse landbouwers die betrokken zouden kunnen zijn bij het **project Boucle du Hainaut** in de provincie Henegouwen.

De ULg-studie had als doel via literatuurstudie een overzicht te maken van bestaande wetenschappelijke kennis rond de **impact van elektromagnetische velden** van een bovengrondse 380kV-hoogspanninglijn op diverse aspecten van landbouw. De onderzoeksvraag focust zich op elektromagnetische velden; aspecten zoals impact tijdens de aanlegfase werden niet bestudeerd.

1.4 Doelstelling van de aanbevelingen

De studies van het ILVO en de ULg geven een overzicht van de **wetenschappelijke kennis en daarmee ook de leemten in deze kennis**. De studies geven geen aanbevelingen of concrete uitwerking over de wijze waarop met de wetenschappelijke kennis omgegaan dient te worden.

Daarom werd voorliggend document opgemaakt met daarin aanbevelingen over de wijze waarop rekening kan gehouden worden met landbouwactiviteiten bij de uitbouw van het hoogspanningsnet. De meeste van deze **aanbevelingen zijn generiek van aard**. Ze zijn dus niet enkel van toepassing voor het GRUP Ventilus, maar voor alle projecten van Elia. De aanbevelingen kunnen gelden voor Elia, voor het beleid (en uitvoering) op Vlaams niveau of gerichte partnerschappen.

2 Wetenschappelijke kennis

2.1 Inleiding

Onderstaande **samenvatting van de wetenschappelijke kennis** is gemaakt op basis van de studies van het ILVO en de ULg. Niet elke studie bevat informatie over elk aspect. Voor een uitgebreide beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar beide studies (zie bijlage 1 en 2). Zeer kort samengevat kan gesteld worden dat:

- De studie van ILVO een analyse deed over **een lange lijst aan mogelijke effecten** gerelateerd aan hoogspanningsinfrastructuur. Hierbij werd gekeken naar zowel bovengrondse als ondergrondse infrastructuur en zowel de aanlegfase als de effecten tijdens de uitbatingsfase. Het doel van de ULg-studie was beperkt tot de mogelijke effecten van de elektromagnetische velden.
- Beide studies **wetenschappelijke bronnen** van hoge kwaliteit behandelen. Door het beperkt aantal hoogkwalitatieve bronnen vulden beide studies deze bronnen aan met zogenaamde **grijze literatuur**, zijnde literatuur die geen onafhankelijk wetenschappelijke kwaliteitscontrole heeft ondergaan heeft vóór publicatie.
- De studie van ILVO het literatuuronderzoek aanvult met **diepte-interviews** van landbouwers die bestaande hoogspanningsinfrastructuur op/onder hun terreinen hebben.

De aanbevelingen (zie paragraaf 4) zijn het resultaat van zowel de literatuurstudies als de diepte-interviews.

2.2 Effecten op gezondheid van landbouwers

2.2.1 Effecten door magnetische velden

Sinds de jaren ’70 wordt onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan lagere niveaus van magnetische velden van hoogspanningslijnen[1]. In bevolkingsonderzoeken werd een statistisch verband gevonden tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen (chronische blootstelling aan meer dan 0,4 µT) en het meer voorkomen van kinderleukemie.

Epidemiologen hebben onderzocht of vertekeningen of verstorende variabelen dit verband kunnen verklaren, maar ze komen niet tot een definitieve conclusie in deze materie. Tegelijkertijd werd via cel-dierproeven het werkingsmechanisme onderzocht, echter zonder resultaat. Zelfs bij levenslang blootgestelde dieren konden goed uitgevoerde studies geen verband aantonen tussen ELF magnetische velden en acute leukemie. Tot nu toe kan geen enkel werkingsmechanisme het mogelijke verband verklaren.

Er werd ook onderzoek uitgevoerd naar andere soorten kanker, neurodegeneratieve ziekten, cardiovasculaire aandoeningen, depressie, zelfmoord, gedragsstoornissen, vruchtbaarheidsstoornissen, overgevoeligheden, slaapstoornissen, maar zonder een significant verband aan te tonen.

[1] Langdurig komt overeen met minstens gedurende één jaar elke dag gemiddeld blootgesteld zijn aan meer dan 0.4 µT.

Er bestaan wel aangetoonde effecten bij een korte termijn (enkele uren/dag) blootstelling aan elektromagnetische velden met een zeer hoge veldsterkte (> 1000µT). Dat komt in de praktijk echter niet voor. Deze effecten zijn ook tijdelijk; zodra de blootstelling zakt, verdwijnt het effect. De internationale normen en aanbevelingen hiervoor zijn vastgelegd op 100-200µT. Voor veel lagere waarden, van toepassing op Ventilus en andere 380 kV hoogspanningslijnen in Vlaanderen, worden deze effecten niet meer aangetoond.

2.2.2 Elektrisch risico

Bij bovengrondse hoogspanningslijnen bestaan **veiligheidsafstanden** die gerespecteerd dienen te worden om elektrische overslag te vermijden. Bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen zijn er **geen risico's** bij normale landbouwactiviteiten.

2.3 Effecten op dierlijke productie

2.3.1 Directe effecten van elektrische of magnetische velden

Er is tot nu toe weinig onderzoek gevoerd naar langetermijneffecten op landbouwdieren (d.w.z. de levenscyclus van het dier binnen een bedrijf). De resultaten van de bestaande wetenschappelijke onderzoeken zijn niet eenduidig.

Er zijn indicaties, maar voorlopig onbevestigd, dat runderen hun gedrag aanpassen in de buurt van hoogspanningslijnen. Een verandering in gedrag hoeft daarentegen niet negatief te zijn en kan een antwoord zijn op het omgaan met een verandering. Vanuit de interviews bleek dat de aanwezigheid van de mast voor de runderen beschutting tegen de zon bood en iets om tegen te wrijven.

In onderzoek naar kippeneieren werd aangetoond dat bij een lage blootstelling de morfologie en ontwikkeling van embryo's kan aangetast worden. Welke blootstelling resulteert in welke effecten en wat de gevolgen zijn voor welzijn en productiviteit is echter niet duidelijk.

In de bestaande wetenschappelijke onderzoeken worden **geen aannemelijk biologisch mechanismes** gegeven die een potentieel effect zouden kunnen verklaren. Ook de werkelijke blootstelling van dieren aan elektrische of magnetische velden, opgewekt door hoogspanningsverbindingen, blijkt onvoldoende gekend. Terwijl dit net cruciaal is om de relevantie van en mogelijkheid tot potentiële effecten te bepalen.

Hierdoor zijn er **geen eenduidige wetenschappelijke conclusies** te trekken voor de mogelijk directe effecten van elektromagnetische velden van een hoogspanningslijn op de gezondheid, het stressniveau, het dierenwelzijn of de productie van dieren binnen of buiten gebouwen.

2.3.2 Indirecte effecten van elektrische of magnetische velden

Indirecte effecten van hoogspanningslijnen op landbouwdieren zijn daarentegen **beter gekend, namelijk via zwerfstromen die worden geïnduceerd op de metalen structuren**. Zwerfstromen kunnen leiden tot gedragsstoornissen en uiteindelijk ook productie- en gezondheidseffecten bij de dieren. De oorzaak ligt vaak bij de elektrische installatie van het landbouwbedrijf, maar dit kan ook ontstaan onder invloed van het elektrisch veld van de hoogspanningslijn. Zwerfstromen zijn te verhelpen door een correcte aarding van alle geleiden structuren, mits de elektrische installatie van gebouwen conform de regelgeving is.

2.4 Effecten op plantaardige productie en bodem

De **fysieke aanleg en aanwezigheid** van een hoogspanningsmast of een hoogspanningskabel heeft een duidelijke impact en deze effecten zijn goed gekend: afname teeltoppervlak, bodemverdichting, veiligheidsrisico's, temperatuureffect, etc. Dit kan een tijdelijk of permanent effect veroorzaken op de productiehoeveelheid.

Wetenschappelijke onderzoeken naar de potentiële impact van elektromagnetische velden op **gewasopbrengsten en -kwaliteit** hebben geen eenduidig effect vastgesteld.

Over de impact van microbieel leven in de bodem en de impact van elektromagnetische velden op ongewervelden is weinig literatuur beschikbaar, alsook tegenstrijdige conclusies in de bestaande studies. Met de bestaande wetenschappelijke literatuur is het nog niet mogelijk om sluitende conclusies te nemen over de gevolgen op bijen bij de veldsterktes die voor Ventilus zullen van toepassing zijn.

De aanleg en fysieke aanwezigheid van hoogspanningsinfrastructuur kan een invloed uitoefenen op de aanwezigheid van onkruiden, plantenziekten en plagen. Er werd vanuit de weinig beschikbare wetenschappelijke literatuur geen rechtstreekse invloed vastgesteld van de hoogspanningslijnen op het voorkomen van plantenziekten en -plagen.

Er bestaat weinig literatuur over drupschade en risico op besmetting met botulisme. Het risico op besmetting met botulisme vanuit kadavers wordt als laag beschouwd. Ook vanuit de interviews bleek de bezorgdheid t.a.v. botulisme verdeeld te zijn.

2.5 Effecten op agrarische constructies

Er zijn **geen wetenschappelijke onderzoeken gevonden** die een invloed op agrarische constructies konden aantonen. Via niet-conforme elektrische installaties kunnen er effecten zijn op landbouwdieren, zoals toegelicht (3.3.2).

2.6 Effecten op landbouwtoestellen en -technologie

De mogelijke effecten op landbouwtoestellen zijn vrij goed gekend. Elektrische apparatuur die voldoet aan de **EC-richtlijnen** zou **geen invloed** mogen ondervinden van elektromagnetische velden.

Uitsluitend bij bepaalde sensoren die met magnetische velden werken (EMI-sensoren) kan in bepaalde situaties een **verstoring optreden**.

Door de fysieke aanwezigheid van hoogspanningslijnen kan in bepaalde gevallen een impact mogelijk zijn op de precisie van de **locatiebepaling in precisielandbouw** door reflecties van de GNSS-signalen.

Het **gebruik van drones** is ter hoogte van een hoogspanningslijn beperkt, wat afhankelijk van de toepassing hinder kan geven.

2.7 Conclusie

Uit de wetenschappelijk literatuur blijkt dat weinig concrete of éénduidige antwoorden gevonden kunnen worden voor de gestelde vragen. Vooral de mogelijkheid van effecten op dieren en gewassen is een duidelijke leemte in de kennis. Bijkomend onderzoek kan nuttig zijn.

Waar er wel éénduidige antwoorden kunnen gegeven worden, kan worden geconcludeerd dat de **beschikbare kennis geen aanleiding geeft tot ongerustheid**.

3 Aanbevelingen

Rekening houdend met de gestelde vragen, met de resultaten van de studies uitgevoerd door ILVO en ULg, en met de praktijkervaring van de geïnterviewde landbouwers stelt de stuurgroep de **onderstaande aanbevelingen** voor in verband met landbouw en hoogspanningsinfrastructuur.

De aanbevelingen die een gevolg kennen i.k.v. het GRUP Ventilus zullen opgenomen worden door het planteam , in samenwerking met Elia. De andere aanbevelingen zullen in een volgende stap moeten gedetailleerd en toegewezen (Elia, landbouworganisaties, VLM, …) worden.

3.1 Aanbevelingen voor de tracébepaling voor het GRUP Ventilus

Bij de bepaling van het tracé van nieuwe bovengrondse hoogspanningslijnen moet rekening gehouden worden met volgende aanbevelingen:

- **Streven naar een zo beperkt mogelijk aantal nieuwe overspanningen van (landbouw)woningen.** Veel landbouwers zijn bezorgd over de mogelijke impact van de hoogspanningslijn op hun eigen gezondheid en de gezondheid van hun familie en medewerkers. Vanuit het voorzorgsbeginsel wordt gestreefd naar het minimaal overspannen van woningen. Deze aanpak dient ook gevolgd te worden voor bedrijfswoningen, zoals in dit geval de landbouwwoningen.

- **Streven naar een zo beperkt mogelijk aantal nieuwe overspanningen van landbouwgebouwen zoals stallen en serres.** Niet enkel het aantal bedrijfswoningen wordt best zo laag mogelijk gehouden. Dit principe wordt best aangehouden voor landbouwgebouwen waarin dieren verblijven of waarin gewassen geteeld worden. Het vermijden van deze gebouwen vermijdt immers mogelijke effecten door zwerfstromen o.a. bij onvoldoende geaarde elektrische installaties, hinder door vogels die tegen de elektriciteitsdraden vliegen (bij serres), ...

Bij de bepaling van het tracé van nieuwe ondergrondse hoogspanningsverbindingen moet rekening gehouden worden met volgende aanbevelingen:

- **Streven naar een ligging in openbaar domein voor verbindingen met een beperkt ruimtebeslag.** 150kV-verbindingen worden gewoonlijk aangelegd in openbare wegenis omdat hun ruimtebeslag slechts enkele meters bedraagt. De schaal bij 220kV en de 380kV-bundels maakt een ligging in openbaar domein gewoonlijk onrealistisch.

- **Maximaal vermijden van kruisingen van (landbouw)woningen en actief gebruikte landbouwgebouwen zoals stallen en serres.** Veel landbouwers zijn bezorgd over de mogelijke impact van de elektriciteitskabels op hun eigen gezondheid en de gezondheid van hun familie en medewerkers. Vanuit het voorzorgsbeginsel wordt al gestreefd naar het zo beperkt mogelijk overspannen van woningen. In lijn hiermee worden ook kruisingen met actief gebruikte landbouwgebouwen zo beperkt mogelijk gehouden.

- **Rekening houden met zowel de afstand doorkruiste landbouwgronden als het gebruik van de doorkruiste landbouwgronden.** Enerzijds zorgt een rechtlijnige verbinding voor een korter tracé en dus minder ruimtebeslag in landbouwzone. Anderzijds kan een ligging van de

voorbehouden zone en inspectieputten aan perceelsranden zorgen voor een beperktere hinder t.a.v. de betrokken landbouwpercelen en landbouwzetels.

3.2 Aanbevelingen voor het plan/project Ventilus

In kader van de GRUP-procedure en de vergunningsaanvraag, alsook de communicatie hierover, dient rekening gehouden te worden met de onderstaande aanbevelingen.

3.2.1 GRUP-proces en communicatie

- **Heldere communicatie over mogelijke gezondheidseffecten.** Vanuit de bevolking is men bezorgd over de mogelijke impact van de hoogspanningslijn op hun gezondheid. Gezien het gaat over een complexe materie, waarbij een goed begrip hiervan, enige wetenschappelijke kennis vereist, is een heldere begrijpbare en laagdrempelige communicatie over de mogelijke effecten zeer belangrijk voor de bevolking in de buurt van nieuwe hoogspanningsinfrastructuur.

- **Een zo ruim mogelijke en heldere communicatie over het beslissingsproces.** De GRUP-procedure met daaropvolgend een omgevingsvergunningsprocedure is een langlopend proces met wettelijk vastgelegde en duidelijk onderscheiden stappen. Voor vele betrokkenen zijn de stappen niet helder en is onduidelijk wat in welke stap verwacht kan worden. Een heldere communicatie over het proces zelf is nodig om het beslissingsproces transparant te maken. Daarbij is het belangrijk om duidelijk te maken in welke stappen participatie en publieke inspraak mogelijk zijn. Zoals ook gebeurde bij de startnota, dient bijzondere aandacht gegeven te worden aan een zo ruim mogelijke communicatie hierover, met een maximaal gebruik van de communicatiekanalen om zoveel mogelijk doelgroepen te bereiken en te informeren.

3.2.2 Uitwerking ontwerp in functie van vergunningsaanvraag

- **Detailinplanting van mastlocaties op percelen bekijken in overleg met de betrokken landbouwers.** Vanuit de studie van het ILVO wordt aanbevolen om masten maximaal aan de randen van landbouwpercelen in te planten. In praktijk blijkt dit niet altijd de voorkeur van de betrokken landbouwer te zijn. Bij het detailontwerp (fase vergunning) dient aangegeven te worden in welke mate een verschuiving op een landbouwperceel mogelijk is en moet dit worden afgestemd met de betrokken landbouwer. Dit kan in bepaalde gevallen ook gebeuren bij hergebruik/optimalisatie van een bestaand hoogspanningstracé.

- **De hoogte waarop de elektriciteitsdraden hangen afstemmen op de huidige/toekomstige landbouwinfrastructuur.** De startnota gaf de voorlopige voorgestelde hoogtebeperkingen weer voor bebouwde agrarische gebieden (i.e. stallen, serres, …). Indien ergens een landbouwgebouw aanwezig zou zijn onder de geplande hoogspanningslijn, dat hoger is dan de voorlopige hoogtebeperking dient minstens lokaal de hoogte van de elektriciteitsdraden hier op afgestemd te worden. Daarom is het nuttig na te gaan welke hoogte van landbouwgebouwen courant is/zal worden en de hoogtebeperking eventueel hierop bij te

stellen. De hoogtebeperking[2] dient rekening te houden met de nieuwste landbouwtechnieken zodat het moderniseren of vervangen van landbouwgebouwen mogelijk blijven.

3.3 Aanbevelingen voor alle hoogspanningsprojecten

Onderstaande aanbevelingen hebben een ruimer toepassingsgebied dan het tracé of de procedure van het project Ventilus. Deze aanbevelingen omvatten preventieve maatregelen die van toepassing kunnen zijn voor de hoogspanningsinfrastructuur in heel Vlaanderen. Een groot deel van deze maatregelen situeren zich in de context van het afsprakenprotocol tussen Elia en de landbouwfederaties, dat momenteel geüpdatet wordt.

- **Heldere communicatie over mogelijke gezondheidseffecten.** Vanuit de bevolking is men bezorgd over de mogelijke impact van de hoogspanningslijn op hun gezondheid. Gezien het gaat over een complexe materie, waarbij een goed begrip hiervan, enige wetenschappelijke kennis vereist, is een heldere begrijpbare en laagdrempelige communicatie over de mogelijke effecten zeer belangrijk voor de bevolking in de buurt van nieuwe hoogspanningsinfrastructuur.

- **Duidelijke beheeraanpak voor mastpercelen uitwerken om overlast door onkruid en plaagdruk te vermijden.** De mastpercelen zijn meestal eigendom en in gebruik door Elia. In het huidige landbouwprotocol is een vergoeding voorzien voor onkruidbestrijding door de (voormalige) gebruiker. Maar deze aanpak is onvoldoende om overal een goed beheer van de mastpercelen te bekomen. Elia dient een duidelijke beheeraanpak voor haar mastpercelen uit te werken waarbij gestreefd wordt naar een minimum aan nadelen (bv. onkruidverspreiding en plaagdruk naar akkers) en een maximum aan voordelen (bv. aanwezigheid bestuivers en plaagbeheersende organismen).

- **Nagaan of beperkingen van akkerbewerking rond verbindingsputten bij ondergrondse kabels gereduceerd kunnen worden.** Verbindingsputten (mofputten) worden momenteel omheind en vormen een zone die een bewuste fysieke hindernis vormt voor landbouwmachines. In eerste instantie zou het nuttig kunnen zijn dat machines (bv. een ploeg) boven de zone met een verbindingsput kunnen draaien of uitzwaaien achter een tractor. In tweede instantie zou het nuttig kunnen zijn indien de zone van de verbindingsput berijdbaar zou zijn voor landbouwmachines. Daarom moet worden nagegaan of verbindingsputten op een andere (fysiek lagere) manier afdoende beveiligd kunnen worden zodat de akkerbewerking veilig én gemakkelijker kan gebeuren.

- **Toepassen van standaardmaatregelen die Elia vandaag toepast bij de aanleg van infrastructuur om bodemstructuur te beschermen en drainagesystemen te herstellen.** Grootschalige constructiewerken kunnen semipermanent structuurbederf veroorzaken tot diep in de ondergrond en drainagesystemen onderbreken. De standaardmaatregelen die Elia vandaag toepast bij de aanleg van infrastructuur (rijplaten, grondlagen gescheiden stapelen naast sleuf, grondig herstel van drainagesystemen bij de aanleg van kabels, …) moeten voor alle projecten op landbouwterreinen worden toegepast om langdurige effecten op de bodem

[2] Noot: als de hoogtebeperking opgenomen wordt in de stedenbouwkundige voorschriften, dan zal dit op niveau van het RUP moeten gebeuren.

zo veel mogelijk te beperken. Bijkomend is na te gaan uit ervaringen bij het project Stevin of projecten van andere nutsmaatschappijen, of aanpassingen nodig zijn aan de maatregelen en/of vergoedingen en of bijkomende maatregelen nodig zijn.

- **Uitwerken van een aanpak (probleemoplossend en/of vergoeding) voor situaties waar er zich problemen voor precisielandbouw zouden voordoen.**
  Het aantal gekende problemen met precisielandbouw in België is momenteel nog zeer beperkt. Uit de literatuurstudie blijkt dat in specifieke gevallen wel hinder mogelijk is met de nauwkeurigheid van GPS-positiebepaling (op niveau van enkele centimeters). Voor bepaalde types van precisielandbouw kan dit tot belangrijke nadelen leiden. Het is nog onduidelijk of dit zich in de praktijk zal voordoen. Het is aangewezen om proactief reeds een aanpak uit te werken om dergelijke problemen op te lossen. Het is noodzakelijk dat Elia in voorkomend geval in overleg met de gebruiker een oplossing zoekt op basis van bestaande oplossingen en indien nodig het betrokken nadeel financieel vergoedt.

- **Zoeken naar een verkoopmogelijkheid voor landbouwwoningen (cf. het vergoedingenbeleid van Elia) die afgestemd is op het functioneren van het landbouwbedrijf.** Als onderdeel van het vergoedingsbeleid voor woningeigenaars geldt dat eigenaars van nieuw overspannen woningen een verkoopmogelijkheid aan Elia hebben. Landbouwbedrijfswoningen vormen een onderdeel van het landbouwbedrijf, waardoor deze aanpak moeilijk toepasbaar is. Enerzijds is de bedrijfswoning moeilijk opnieuw verkoopbaar te stellen door Elia en anderzijds kan het verkopen door de landbouwer tot nadelen voor de bedrijfsvoering leiden. Een bestaande woning aankopen vlak bij het landbouwbedrijf zal in de meeste gevallen onmogelijk zijn voor de landbouwer. De mogelijkheid om op een aanliggend landbouwperceel een nieuwe bedrijfswoning op te richten zou een oplossing kunnen vormen. Hiervoor zou een herverkaveling eventueel nuttig kunnen zijn. Mogelijk is bijkomend een reorganisatie van de bedrijfsgebouwen nodig zijn om de bedrijfsvoering efficiënt te kunnen houden. Er wordt aan de Vlaamse overheid aanbevolen een pakket van maatregelen te onderzoeken om een zinvolle verkoopmogelijkheid voor landbouwbedrijfswoningen aan te kunnen bieden.

- **Duidelijke informatiebrochure over de regels voor een goede elektrische installatie verdelen om zwerfstromen te vermijden en een aanpak uitwerken die landbouwers kan ontzorgen.**
  Hoogspanningsverbindingen kunnen in de buurt van onvoldoende geaarde installaties aanleiding geven tot zwerfstromen. Dit kan leiden tot schrikeffecten bij dieren met negatieve gevolgen voor de productiviteit. Dit kan vermeden worden door de regels voor een goede elektrische installatie altijd te respecteren en geleidende installaties goed te aarden. Het opmaken en verdelen van een informatiebrochure die de landbouwers duidt op het belang van een conforme elektrische installatie is aan te bevelen. Als dienstverlening naar de landbouwers, die lange horizontale metalen constructies onder een hoogspanningslijn hebben, zou Elia via een raamovereenkomst met een aantal aannemers kunnen instaan voor een bijkomende aarding van hun installaties. Deze aanpak kan de betrokken landbouwers op een efficiënte wijze ontzorgen van deze problematiek, alsook de expertise verhogen bij aannemers en installateurs.

- **Duidelijke informatiebrochure over de veiligheidsregels in de buurt van hoogspanningsinstallaties verdelen en een aanpak uitwerken (probleemoplossend en/of vergoeding) voor situaties waar zich problemen voordoen met beregeningsinstallaties.** Het te dicht naderen van elektrische installaties kan leiden tot gevaarlijke situaties. De

hoogtebeperkingen die opgelegd worden om de veiligheid te garanderen, dienen duidelijk gecommuniceerd te worden. Bij het vastleggen van de hoogtebeperking zelf en bij de communicatie hierover moet aandacht besteed worden aan mogelijke activiteiten die onder een hoogspanningslijn kunnen gebeuren. Een bijzonder aandachtspunt zijn akkers waar gebruik gemaakt wordt van beregeningshaspels. Hiervoor dient een mitigatieaanpak uitgewerkt te worden.

- **Eenvoudig begrijpbare brochure over de rechten en plichten (cfr. het landbouwprotocol) verdelen.** De protocolovereenkomst is geschreven in juridische taal en is een zeer omstandig document. De opmaak van een eenvoudig begrijpbare brochure met vermelding van de belangrijkste rechten en plichten voortvloeiend uit deze overeenkomst is noodzakelijk en dient verdeeld te worden aan de landbouwers waarmee overeenkomsten gesloten worden.

- **Centraal aanspreekpunt bij Elia én de landbouwfederaties vastleggen voor alle mogelijke situaties met betrekking tot landbouw en hoogspanningsinfrastructuur.** Voor betrokken landbouwers is het belangrijk dat zij een centraal aanspreekpunt hebben bij Elia én de landbouworganisaties. Hierdoor moet het duidelijk zijn waar ze terecht kunnen met concrete vragen en waar ze eventuele problemen kunnen melden. Dit gebeurt best niet alleen tijdens de werffase, maar blijft ook van toepassing na de bouw van de infrastructuur. Het gebruik van een centraal aanspreekpunt zorgt er ook voor dat de informatie beter over langere tijd en meerdere projecten verzameld kan worden.

- **Algemene update van het landbouwprotocol opmaken.** Het Elia-protocol met ABS, BB en FWA is intussen ongeveer 10 jaar oud en kan een update gebruiken. Deze oefening is reeds gestart. De thema's die aan bod komen worden nog opgelijst door alle partijen, het kan zowel gaan om aanpassingen van bestaande bedragen of vergoedingswijzen als om nieuwe elementen (bv. precisielandbouw, serres, …).

3.4 Aanbevelingen om kennis inzake de mogelijke impact van hoogspanningslijnen en -kabels op de landbouw systematisch op te bouwen

Onderstaande aanbevelingen kunnen van toepassing zijn voor de opvolging / kennisuitbreiding van mogelijke effecten van magnetische velden waar vandaag nog weinig wetenschappelijk onderzoek naar is gebeurd.

- **Wetenschappelijk onderzoek met betrekking tot impact van magnetische velden op de landbouwbedrijfsvoering systematisch opvolgen.** Dit kan gelijkaardig zijn aan wat de *Belgian BioElectroMagnetics Group* (BBEMG) reeds doet voor het onderzoek over menselijke gezondheid. Deze organisatie omvat onderzoekers van verschillende universiteiten in België. Er kan nagegaan worden of de BBEMG kan ingeschakeld worden of uitgebreid worden. Op deze manier zou de BBEMG haar kennis van de effecten van magnetische velden op de menselijke gezondheid kunnen uitbreiden met gegevens over effecten op plant en dier (in kader van agrarische bedrijfsvoering). Indien dit niet kan binnen het kader van de BBEMG, zal naar een andere opzet moeten gezocht worden.

- **Nagaan of en hoe bijkomend (wetenschappelijk) onderzoek op een zinvolle wijze leemten in de kennis kunnen verhelpen.** Het aantal vragen waar geen wetenschappelijk zeker antwoord

op gegeven kan worden is vrij groot. Het is echter niet zinvol om voor elke leemte in de kennis een wetenschappelijk onderzoek op te starten. Om een onderzoek op te starten, dient rekening gehouden te worden met de kans dat een bepaalde situatie zich voor doet, de kans dat dit tot een effect leidt, de mogelijke grootte van het effect, de mogelijke ernst van het effect, de mate waarin een effect tijdelijk of permanent zou zijn, etc. Voor een aantal aspecten lijkt het alvast zinvol om bijkomend onderzoek op te starten.

Op **korte termijn**:

- Metingen uitvoeren naar de huidige en bestaande bronnen van elektromagnetische velden en de veldniveaus hiervan bij broederij- en andere landbouwinstallaties (zonder aanwezigheid van een hoogspanningsverbinding). Alle elektrische apparaten en verbindingen veroorzaken elektromagnetische velden, ook deze in landbouwgebruik. De velden die hierdoor veroorzaakt worden, zijn kleiner dan van hoogspanningsinfrastructuur, maar ook de afstand tot de dieren en planten is kleiner. Een goed inzicht in de bestaande magnetische velden bij landbouwbedrijven door apparatuur in de bedrijven zelf kan bijkomende informatie opleveren over de bijkomende relevantie van elektromagnetische velden door hoogspanningslijnen.

- Laten uitvoeren van een *review paper* over uitgevoerde onderzoeken naar de impact van elektromagnetische velden op kippeneieren. De studies hierover zijn tegenstrijdig. Een gedetailleerde *review* kan misschien tot een duidelijke conclusie leiden.

Op **lange termijn**:

- Opvolging van lange termijn gevolgen op landbouwproductiviteit bij de aanleg van ondergrondse hoogspanningsverbindingen. Indien voldoende informatie over de aanlegpraktijk voorhanden is, kan gebruik gemaakt worden van het project Stevin. Een opvolging op lange termijn kan vaststellen hoe snel de werfschade (structuurschade) herstelt, in welke mate er permanente nadelen zijn (door een gewijzigde hydrologie, etc.) en onder welke omstandigheden dit zou optreden.

- Monitoring van blootstelling aan magnetische velden van dieren in weides om dit te kunnen vergelijken met de blootstellingen die bij experimenten in gecontroleerde omstandigheden zijn gebruikt. Deze monitoring moet op lange termijn en in verhouding tot de levensduur van het vee (maanden) worden uitgevoerd om de tijds- en ruimtelijke variaties goed vast te stellen. Dit gebeurt naargelang de afstanden ten opzichte van de lijn en de belasting van de hoogspanningslijn. De effectieve blootstellingswaarden, aangevuld met berekeningen van mogelijke blootstellingen, kunnen vastleggen welke blootstellingswaarden in gecontroleerde experimenten zinvol zijn. Ook kan dit duidelijk maken in welke mate de gebruikte blootstellingswaarden in reeds uitgevoerde experimenten realistisch zijn.

- Monitoring van blootstelling aan magnetische velden van dieren in de gebouwen waar de dieren verblijven om dit te kunnen vergelijken met de blootstellingen die bij experimenten in gecontroleerde omstandigheden zijn gebruikt. Deze monitoring moet op lange termijn en in verhouding tot de levensduur van het vee (maanden) worden uitgevoerd om de tijds- en ruimtelijke variaties goed vast te stellen. Dit gebeurt naargelang de afstanden ten opzichte van de lijn en de belasting van de

hoogspanningslijn. De effectieve blootstellingswaarden, aangevuld met berekeningen van mogelijke blootstellingen, kunnen vastleggen welke blootstellingswaarden in gecontroleerde experimenten zinvol zijn. Ook kan dit duidelijk maken in welke mate de gebruikte blootstellingswaarden in reeds uitgevoerde experimenten realistisch zijn.

- Analyse uitvoeren op velden met akkerbouwgewassen om de opbrengst en oogstkwaliteit te onderzoeken. Dit onderzoek kan uitwijzen of en in welke mate landbouwgewassen een nadeel ondervinden door de aanwezigheid van een hoogspanningslijn (bijvoorbeeld door drupschade, etc.). Hierbij is het belangrijk dat dit onderzoek over voldoende jaren herhaald wordt.

In functie van de resultaten van het onderzoek en de meldingen bij de centrale aanspreekpunten kunnen nog bijkomende aanpassingen in het (vergoedings)beleid van Elia en het landbouwprotocol gemaakt worden.

4 Bijlagen

4.1 Bijlage 1 De impact van hoogspanningsinfrastructuur op de agrarische bedrijfsvoering. ILVO 2021.

4.2 Bijlage 2 Effets potentiellement générés par l'exploitation d'une ligne électrique aérienne à haute tension sur les exploitations agricoles situées à proximité. ULiège 2020.

Bijlage 8 Elia-beleid voor maatschappelijk verantwoorde projectontwikkeling

1 Elia-beleid voor maatschappelijk verantwoorde projectontwikkeling

Het Elia-beleid om projecten op een maatschappelijk verantwoorde wijze te realiseren omvat diverse aspecten waaronder een groot aantal preventieve project-geïntegreerde maatregelen. Onderstaand is een beknopt overzicht opgenomen.

1.1 Participatie en communicatie

Infrastructuurwerken hebben soms een grote impact op omwonenden, handelaars en andere belanghebbenden. Daarom verbindt Elia zich er toe om alle belanghebbenden vroeg in het proces te betrekken, aan de hand van een gestroomlijnde en consistente informatiestroom, infomarkten en gesprekken. Dat houdt in dat Elia steeds transparant tracht te communiceren, openstaat voor dialoog met omwonenden en een betrouwbare partner wenst te zijn voor de omwonenden en overheden.

Communicatie en publieke consultatie over het Federaal Ontwikkelingsplan

Het Federaal Ontwikkelingsplan vormt de wettelijke basis voor een aantal grote hoogspanningsprojecten die de komende tiental jaren gerealiseerd worden. Een goede communicatie over en participatie bij dit plan is dan belangrijk voor de ontwikkeling van deze toekomstige projecten. Daarom heeft Elia een uitgebreidere communicatie gevoerd dan wettelijk vereist. In het bijzonder naar de lokale en regionale overheden en het middenveld werd extra communicatie voorzien naar aanloop van de publieke consultatie van het Federaal Ontwikkelingsplan.

Projecten: participatie, informatie en communicatie op maat van stakeholders

Participatie is steeds een sleutelwoord binnen grote en kleine infrastructuurprojecten van Elia. Elia krijgt op deze manier feedback over haar plannen en de kans om haar keuzes te duiden en in dialoog te treden met omwonenden, politieke stakeholders en lokale bedrijven of handelaars. Elia beoogt zo meer draagvlak te creëren voor haar projecten en het hoogspanningsnet van morgen uit te bouwen.

Een belangrijk obstakel voor infrastructuurprojecten is de “participatieparadox” waarbij belanghebbenden over het algemeen pas betrokken raken bij en interesse hebben in een project wanneer de belangrijkste beslissingen al genomen zijn. Dit zorgt voor frustraties bij zowel de belanghebbenden als de projectontwikkelaar. Daarom betrekt Elia de belanghebbenden in een zo vroeg mogelijke projectfase zodat hun ideeën en opmerkingen nog meegenomen kunnen worden bij de concrete uitwerking van het project.

Elia organiseert, in functie van het type project, infomarkten voor en/of tijdens de vergunningsprocedures alsook voor en/of tijdens de uitvoering van de werken. Daarnaast investeert Elia middelen en tijd in bijkomende innovatieve participatietechnieken die een meerwaarde kunnen bieden aan de lokale stakeholders. Zo organiseert de netbeheerder, afhankelijk van het project, werfbezoeken, open wervendagen en legt Elia met behulp van een zelf ontwikkeld scholenpakket de energietransitie uit aan de volgende generaties.

Naast fysieke participatie- en communicatiemomenten, houdt Elia eveneens via andere kanalen de belanghebbenden op de hoogte van de ontwikkelingen binnen een project. Elia maakt intensief gebruik van verschillende projectwebsites, folders, brochures, (digitale) nieuwsbrieven, social media en bewonersbrieven om de stakeholders te informeren. Naast papieren en digitale informatiekanalen, beschikt Elia ook over een mailbox en gratis 0800-nummer om vragen en bezorgdheden van de stakeholders over de projecten aan te nemen en meteen te beantwoorden.

1.2 Milieuzorg

1.2.1 Beleid elektromagnetische velden

De blootstelling aan laagfrequente elektromagnetische velden is omwille van mogelijke gezondheidseffecten een onderwerp dat Elia nauwgezet opvolgt.

Bij zowel elektrische als magnetische velden treden er bij (zeer) hoge blootstelling, niveaus die in de praktijk niet voorkomen en zeker niet in de buurt van hoogspanningslijnen, acute reversibele biologische effecten op waarvan het verband tussen oorzaak en effect bewezen is. Hiervoor bestaan er op Europees niveau duidelijke grenswaarden waaraan al onze installaties moeten voldoen, namelijk 5 kV/m voor het elektrisch veld en 100 µT voor het magnetisch veld. Deze grenswaarden voor installaties worden door Elia niet overschreden. In de nabijheid van onze hoogspanningsinstallaties ligt de blootstelling een stuk lager. Hierdoor zullen dergelijke acute effecten in de praktijk nooit voorkomen.

Al bijna 40 jaar lang is er onzekerheid over mogelijke lange termijneffecten bij dagelijkse blootstelling aan heel lage niveaus van magnetische velden. Epidemiologische onderzoeken hebben een zwak, maar niettemin statistisch significant, verband gevonden tussen wonen langs hoogspanningslijnen en een verhoogd risico op kinderleukemie. Ondanks decennia onderzoek is er geen oorzakelijk verband tussen magnetische velden en kinderleukemie gevonden. Echter, zolang een wetenschappelijke verklaring voor dit statistisch verband ontbreekt, blijft er onduidelijkheid bestaan.

Het Elia-beleid rond elektromagnetische velden bestaat er daarom uit om verder in te zetten op de vooruitgang van de wetenschappelijke kennis en het transparant informeren van alle stakeholders. Elia ondersteunt verschillende onderzoekscentra en universiteiten in België, gegroepeerd in de Belgian BioElectroMagnetics Group (BBEMG), alsook op internationaal niveau via het Electric Power Research Institute (EPRI), een non-profitorganisatie voor onderzoek naar energie en milieu.

De psychosomatische effecten worden gereduceerd door de bevolking grondig te informeren over de wetenschappelijke kennis m.b.t. gezondheid en EM-velden en op de hoogte te houden van de projectstudies.

Om omwonenden en andere stakeholders zo goed mogelijk te informeren, biedt Elia op verzoek gratis metingen aan en zijn er een webpagina, infofiches en een brochures beschikbaar. Bijkomend organiseert Elia in het kader van onze projecten gerichte communicaties zoals nieuwsbrieven en infosessies, eventueel ondersteund door een onafhankelijke expert.

Bij de uitbouw en ontwikkeling van het hoogspanningsnet worden magnetisch velden vanaf de studiefase als criterium meegenomen en voor de verschillende opties in detail geëvalueerd. Concreet tracht Elia eerst de bestaande infrastructuur te hergebruiken/ versterken om zo nieuwe corridors te vermijden. Bij het uittekenen van nieuwe bovengrondse tracés worden overspanningen van woningen, scholen, crèches e.d. zoveel mogelijk vermeden en bijkomend wordt de magnetische invloedzone maximaal beperkt door het toepassen van de beste beschikbare technieken.

1.2.2 Beleid inzake het beperken van lichthinder

Verlichting van hoogspannings- en overgangsstations wordt maximaal beperkt om lichthinder te beperken. Deze worden enkel verlicht indien nodig, i.e. bij nachtelijke werken of wanneer er een technische fout wordt waargenomen waardoor de uitbating van het net in gevaar komt.

1.2.3 Beleid inzake het beperken van netverliezen en klimaatverandering

Elia houdt rekening met de evolutie van de netverliezen in het transmissienet en streeft ernaar om deze zo laag mogelijk te krijgen. De netverliezen maken deel uit van de opvolging van de CO_2-footprint van Elia.

Bij de verdere ontwikkeling van het net vertaalt deze doelstelling zich onder andere in de keuze voor hogere spanningsniveaus, efficiëntere toestellen (transformatoren, kabels, enz.) en de rationalisatie van de bestaande infrastructuur en netuitbating.

Bij GIS-installaties wordt SF6-gas gebruikt als schakel- en isolatiemedium. Dit gas is een gekend broeikasgas. Elia werkte een specifiek investerings- en onderhoudsbeleid uit om het risico op SF6-lekken maximaal te beperken. De constructeurs moeten een zeer streng maximaal lekpercentage garanderen voor de hele levensduur van de installaties. Het onderhoudsbeleid streeft naar een minimum van manipulaties op de met SF6-gas gevulde compartimenten.

1.2.4 Beleid inzake het inperken van geluidshinder

De voornaamste bron van permanente geluidshinder in het hoogspanningsnet is verbonden aan de werking van transformatoren. De aankoop van transformatoren met een laag geluidsniveau maakt deel uit van het milieubeleid van Elia.

Bij de bouw van een nieuw onderstation of bij het verhogen van het transformatievermogen van een bestaand onderstation wordt een geluidsonderzoek uitgevoerd. Op basis van de geluidsmetingen van de bestaande transformatoren wordt een simulatie gemaakt van de situatie na de transformatieversterking om het geluidsniveau in te schatten. Dankzij deze werkwijze wordt vanaf de ontwerpfase van het project geluiddempende maatregelen voorzien. Afhankelijk van de situatie (aanpassing van een hoogspanningsstations of een nieuw hoogspanningsstation, de beschikbare ruimte, …) worden de geluidsbronnen door de gebouwen op een hoogspanningsstation afgeschermd of worden geluidsschermen geplaatst. De wettelijk vastgelegde geluidsnormen worden gerespecteerd.

Een bovengrondse hoogspanningsverbinding kan in beperkte mate als geluidsbron optreden in de exploitatiefase. Rond de lijnen kan, vooral bij een hoge luchtvochtigheid, een corona-effect optreden. Dit veroorzaakt een licht gezoem. Door het gebruik van aangepaste geleiders en uitrustingen wordt dit effect sterk verminderd. Uit eerdere studies blijkt dat de berekende maximale geluidswaarden van een 380 kV-lijn met verschillende masttypes onder de vooropgestelde normen liggen. Ook de in praktijk gemeten corona-effecten respecteren de geldende geluidsnormen. De geleiderkeuze en de geleiderconfiguratie op de meest recente masttypes heeft het corona-effect nog verder kunnen beperken ten aanzien van de vroegere masttypes.

Tijdens de aanleg van lijnen, kabels en stations kan tijdelijk geluidshinder optreden. Om de hinder naar omwonenden en natuur te beperken worden hiervoor tal van maatregelen genomen. De voornaamste maatregel is het vermijden van werken in de buurt van bewoning tijdens de avond en nacht.

1.2.5 Beleid inzake de bescherming van het grondwater en de bodem

De belangrijkste potentiële vervuilingsbron voor de bodem, het grond- en het oppervlaktewater is het grote volume minerale olie in de transformatoren.

Standaard wordt onder de transformatoren een vloeistofdichte betonnen kuip geïnstalleerd die bij een incident, zoals een olielek, alle olie opvangt. De kuipen worden voor de extreemste situatie gedimensioneerd en kunnen dus het volledige volume opvangen. Zelfs als de transformator volledig leegloopt zal er geen olie in de bodem of grondwater terecht komen.

Om te verzekeren dat het regenwater dat op de installaties valt steeds afgevoerd wordt zonder verontreiniging, worden de kuipen uitgerust met een koolwaterstofafscheider en een bijkomende coalescentiefilter met automatische afsluiter. Hierdoor blijft het afstromend hemelwater dat geloosd wordt vrij van verontreiniging.

Het Elia-beleid schrijft voor dat alle nieuwe transformatoren van een vloeistofdichte betonnen kuip moeten worden voorzien. Voor bestaande transformatoren zonder opvangkuip heeft Elia een investeringsprogramma zodat deze zo snel mogelijk “ingekuipt” worden. Dit gebeurt systematisch in de stations waar burgerlijke bouwkunde werken worden uitgevoerd of via specifieke projecten indien er op de betrokken post binnen een redelijke termijn geen andere investeringen gepland zijn.

In het kader van het onderhoud van haar installaties verft Elia, gemiddeld om de 15 jaar, haar masten om ze te beschermen tegen corrosie en zo hun levensduur te garanderen. Tot 1995 gebeurde dit met loodhoudende verf als grondlaag. De soorten verf die vandaag gebruikt worden voldoen aan de strengste milieunormen en bevatten sinds 1995 geen lood meer.

De standaardmasten zijn gegalvaniseerd en worden éénmaal volledig geschilderd (sinds 2005 gebeurt dit bij constructie). Gedurende hun levensduur worden ze nadien periodiek bijgewerkt waarbij gecorrodeerde delen worden herschilderd.

Er bestaan nog een aantal oude kleinere masten in zwart staal. Om hun levensduur te kunnen verlengen wordt de volledig mast herschilderd. Hierbij worden alle verflagen verwijderd door ze pneumatisch af te bikken. Bij het afbikken kunnen er loodschilfers of -stof in de omgeving terecht komen. Door de masten vooraf volledig rondom met zeilen af te dekken, wordt dit voorkomen. Na het afbikken, worden de zeilen verwijderd en de masten in open lucht geverfd. Hiervoor wordt geen loodverf meer gebruikt. Op het einde van de werken voert Elia samen met de aannemer, die de schilderwerken uitvoerde, een bodemcontrole uit rond de masten. Door het nemen van al deze maatregelen, voorkomt Elia loodverontreiniging.

Tijdens de aanlegwerkzaamheden worden gepaste voorzorgsmaatregelen genomen en wordt met de best beschikbare technieken gewerkt waardoor het risico op bodem- en grondwaterverontreiniging maximaal wordt vermeden.

Indien er toch een verontreiniging zou plaatsvinden, wordt de verspreiding hiervan beperkt en wordt deze gesaneerd volgens de procedures cf de vigerende wetgeving.

Door de naleving van het wettelijk kader rond grondverzet en bodemverontreiniging wordt verspreiding van bestaande verontreinigingen tijdens de graafwerken en het ontstaan van nieuwe verontreinigingen door grondverzet maximaal vermeden.

Indien er een grondwaterverontreiniging in de omgeving aanwezig is, die door bemaling op de werf aangetrokken kan worden, wordt de verspreiding en verstoring hiervan vermeden door de invloedstraal van de bemaling te beperken.

Elia neemt ook maatregelen om bodemverdichting te vermijden. Hiervoor wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van houten rijschotten, metalen rijplaten of in beperkte situaties een tijdelijke halfverharding die samengesteld werd uit een doek en diverse lagen steenslag om het gewicht te verdelen.

Daarnaast neem Elia op projectniveau ook maatregelen om mogelijke effecten op stabiliteit/zettingen van omliggende structuren maximaal te vermijden.

Het reliëf van de werfzones voor hoogspanningslijnen en ondergrondse kabels wordt hersteld naar de oorspronkelijke staat.

Elia plaatst de werfdepots bij voorkeur in bestaande industriegebieden of op verharde terreinen om de hinder voor de omgeving en de natuur te beperken.

Een kwalitatieve bodem is essentieel voor vele landbouwactiviteiten. Het bewaren van de bodemkenmerken krijgt dan ook veel aandacht tijdens de werf. Zeker in het geval van een ondergrondse kabelverbinding is de potentiële impact zeer groot. Om dit te vermijden worden dan een groot aantal maatregelen genomen voor de bodemopbouw en -structuur:

- Voor aanvang van de werken brengt een specifiek onderzoek de verschillende bodemlagen van de landbouwgrond in beeld. Hiervoor worden enkele proefsleuven gegraven tijdens de studiefase.
- Op basis van deze resultaten werkt een landbouwexpert een plan uit om de effectieve sleuf uit te graven en de impact op de bodemstructuur zo minimaal mogelijk te houden. Dit plan bepaalt:
    - hoeveel bodemlagen er aanwezig zijn en welke dikte deze hebben zodat deze gescheiden afgegraven kunnen worden.
    - hoe de opslag van de verschillende bodemlagen gebeurt. De verschillende lagen worden gescheiden van elkaar gestockeerd. Bij een langere stockage wordt er ook aandacht gegeven aan het voorkomen van onkruidgroei en zaadzetting daarvan op de teelaarde.
    - welke maatregelen genomen moeten worden bij machinebewegingen op de landbouwgrond. Bv het gebruik van rijplaten.
    - hoe de bodemlagen teruggeplaatst worden. Uiteraard gebeurt dit in de omgekeerde volgorde als bij het uitgraven. Maar er wordt bijvoorbeeld ook opgelegd dat de opvulling van de sleuf niet mag gebeuren tijdens natte periodes. Ook de mate waarin een latere zetting te verwachten valt wordt hierin meegenomen.
- Na de plaatsing van de kabels (in een warmteverdelende laag) wordt de sleuf verder aangevuld met de afzonderlijk uitgegraven en gestockeerde gronden met respect voor het onderscheid tussen de onderlaag en de teelaarde.
- Wanneer de sleuf weer is aangevuld, wordt het werkterrein afgewerkt. Over eventuele overtollige grond worden afspraken gemaakt met de grondeigenaar.

De opwarming van de bodem ten gevolge van de warmteafgifte van de ondergrondse kabels wordt maximaal beperkt door de kabels in een warmteverspreidend materiaal (bv dolomiet) te plaatsen.

1.2.6 Beleid oppervlaktewaterbeheer

De waterhuishouding op het 600-tal hoogspanningsstations die in België door Elia uitgebaat worden, bestaat hoofdzakelijk uit hemelwater dat terechtkomt op de hoogspanningsinstallaties (transformatoren), de ondoorlaatbare (daken, asfaltweg) en doorlaatbare oppervlakken (grindwegen) en een beperkt watergebruik voor het sanitair.

Bij het bouwen van nieuwe stations maar ook bij het uitbreiden of vernieuwen van bestaande stations wordt de hemelwaterwetgeving gevolgd en worden de nodige investeringen voorzien in functie van onderstaande principes:

- verzekeren dat het hemelwater dat op de installaties (transformatoren) terecht komt steeds zonder enige (olie) verontreiniging wordt afgevoerd (cf hoger);
- de ondoorlaatbare oppervlakte beperken. Dit gebeurt door maximaal gebruik te maken van halfverhardingen. Zo worden de wegenissen aangelegd met versterkte grindkoffers en niet meer met asfalt op beton. Bij de bestaande verhardingen worden afvoergoten gemeden en wordt natuurlijke afvloeiing en infiltratie naast de weg voorzien.
- het hemelwater van de daken opvangen in een hemelwaterput voor hergebruik (sanitair). Het overtollige hemelwater wordt geïnfiltreerd op het eigen terrein met een overloop naar een oppervlaktewater. Het sanitair afvalwater wordt afhankelijk van de lokale omstandigheden op de riolering aangesloten of opgevangen in een gesloten opvangput die ca. 1 keer per jaar geledigd wordt.

Tijdens de werffase worden diverse maatregelen genomen om effecten op waterlopen te beperken. Waar de werkzone een waterloop zal kruisen, wordt de waterloop tijdelijk ingebuisd of wordt een tijdelijke brug over de waterloop geplaatst. De watervoerende functie van de waterlopen zal gedurende de werken steeds behouden blijven.

De waterlopen die gekruist worden door een open sleuf worden tijdelijk gedicht en omgelegd. Na de werken worden de waterlopen terug in hun oorspronkelijke staat en locatie hersteld.

Tijdens de aanlegfase worden negatieve effecten van het lozen van verzilt of verontreinigd bemalingswater in oppervlaktewater beperkt, vb. door het lozen van het bemalingswater in oppervlaktewateren waar er genoeg debiet is om de aanwezige verhoogde concentraties en verzilting te verdunnen. Indien nodig worden nog bijkomende maatregelen voorzien.

Indien het lozingsdebiet van het bemalingswater de capaciteit van de ontvangende waterloop overtreft, kan dit tijdelijk voor plaatselijke wateroverlast zorgen. In dit geval zullen passende maatregelen genomen worden vb. bemalingswater lozen in oppervlaktewateren waarbij een bijkomend debiet geen problemen oplevert inzake wateroverlast, bemaling voorzien in droogste periode, ….

Om permanente effecten op het watersysteem te vermijden worden kruisingen van waterlopen uitgevoerd met gestuurde boringen of als een open sleuf waarbij kleistoppen geplaatst worden zodat het warmteverspreidend materiaal hydrologisch gescheiden wordt van oppervlaktewaters en geen drainerend effect van het grondwater kan hebben.

Waterlopen die permanent zouden dienen te verdwijnen (door bv de bouw van een hoogspanningsstation) worden verplaatst zodat ze hun watervoerende functie kunnen behouden.

1.3 Maatregelen en vergoedingen voor de omgeving

Om schade bij werken op een correcte en aanvaardbare wijze te kunnen vergoeden heeft Elia diverse maatregelen genomen.

Deze staan uitgebreid toegelicht op de website van Elia. Hieronder is de essentie hiervan opgenomen.

Maatregelen toepassen en vergoedingen toekennen gebeurt volgens volgende principes:

- Transparantie: de voorwaarden zijn duidelijk en beschikbaar;
- Geen discriminatie: het beleid geldt voor iedereen en wordt uniform toegepast;
- Proportioneel: de maatregelen en vergoedingen staan in verhouding tot de impact van de werken;
- Proactief: Elia brengt de betrokkenen op de hoogte indien ze in aanmerking komen voor een bepaalde maatregel of vergoeding.

1.3.1 Eigenaars van woningen en bouwgronden

Eigenaars van een woning of bouwgrond binnen een zone van 125 meter ten opzichte van de aslijn van een toekomstige nieuwe luchtlijn worden door Elia gecontacteerd.

Een nieuwe bovengrondse luchtlijn kan tot een nadeel voor uw woning of bouwgrond leiden. Elia dekt het nadeel voor een eigendom door een vergoeding uit te keren.

Deze vergoeding is afhankelijk van:

- de afstand van uw woning of bouwgrond tot de luchtlijn; Hoe dichter u bij de luchtlijn woont, hoe hoger de vergoeding zal zijn.
- het spanningsniveau van de luchtlijn;
- en de waarde van uw eigendom.

De afstanden worden bepaald door een bevoegde landmeter. De waarde van uw eigendom wordt vastgesteld door een onafhankelijke schatter.

Ook bij een aanpassing van een bestaande luchtlijn kan er een nadeel zijn en krijgt u een vergoeding. Een luchtlijn wordt aangepast wanneer de bestaande luchtlijn wordt afgebroken en wordt vervangen door een luchtlijn die aanzienlijk forser is. Het vergoedingspercentage ligt bij een aanpassing lager dan bij de bouw van een nieuwe luchtlijn.

Bij de bouw van een nieuwe luchtlijn wordt bijkomend een verkoopmogelijkheid aangeboden aan de eigenaars van een woning of bouwgrond binnen een zone van 35 meter ten opzichte van het midden van een nieuwe luchtlijn. Een verkoop is volledig vrijwillig. Het bedrag van het opkoopbod is de waarde van de vergunde eigendom/bouwgrond vóór de bouw van de nieuwe luchtlijn. Het aanbod blijft geldig tot één jaar na de ingebruikname van de luchtlijn.

1.3.2 Landbouwers

Elia tracht de impact op landbouwgronden steeds zo veel mogelijk te beperken. Schade is echter nooit volledig te vermijden.

Als algemene regel geldt dat alle schade veroorzaakt tijdens de werken (zowel tijdens de aanleg als bij onderhoud) vergoed wordt. Om dit correct te vergoeden voor zowel de eigenaars als de gebruikers, werden de aanpak en bedragen voor vergoedingen in een protocolovereenkomst vastgelegd met de landbouworganisaties. In 2012 sloten Elia, Boerenbond, Algemeen Boerensyndicaat en la Fédération Wallonne de l'Agriculture een protocolovereenkomst af. Deze overeenkomst bevat de principes die Elia hanteert bij het bepalen van en het uitbetalen van vergoedingen aan landbouwers.

Het doel van de overeenkomst is om een uniforme werkwijze te hebben en op een transparante manier duidelijkheid te geven aan alle betrokken eigenaars en gebruikers over landbouw.

Het landbouwprotocol bestaat uit verschillende onderdelen:

1. De principes voor vergoedingen
    - een vergoeding voor de inplanting van bovengrondse infrastructuren voor de eigenaar en de gebruiker van de landbouwgrond;
    - een vergoeding voor de aanleg van een ondergrondse kabel voor de eigenaar en de gebruiker van de landbouwgrond.
2. Principes met betrekking tot werfschade (schade door de aanleg/onderhoud van de infrastructuur van Elia). De schade die ontstaat bij het aanbrengen of onderhouden van kabels en masten wordt steeds vergoed aan de gebruiker. De vergoedingen worden bepaald volgens de principes vastgelegd in het landbouwprotocol. De procedure om werfschade te bepalen, bestaat uit verschillende stappen:
    - plaatsbeschrijving voor aanvang van de werken;
    - verplichtingen van Elia en de gebruiker (een werfovereenkomst);
    - wijze van vaststelling en regeling van de schadevergoeding;
    - overeengekomen schadevergoedingen;
    - garanties.

De volledige tekst van de protocolovereenkomst is beschikbaar op de website van Elia. Het huidige protocol dateert uit 2012. Er wordt gewerkt aan een actualisatie.

Als Elia werken op uw perceel moet uitvoeren, komt een medewerker bij u langs om uitleg te geven en samen afspraken te maken.

Daarnaast informeert Elia u via bewonersbrieven of infomarkten en online via de website en sociale media. Er is dan ook mogelijkheid om een persoonlijke afspraak met een medewerker te maken.

Elia voorziet voor en tijdens de duur van de werf contactpersonen die de link vormen tussen u als eigenaar of gebruiker enerzijds en Elia en de aannemers die de werken uitvoeren anderzijds. Zij zijn er om uw vragen te beantwoorden en helpen mee zoeken naar oplossingen voor problemen die zich tijdens de werf kunnen voordoen.

Met hen maakt u alle afspraken omtrent het betreden van uw terrein. Indien van toepassing voert Elia een plaatsbeschrijving uit voor aanvang van de werken.

Zij helpen ook bij het bepalen van de omvang van de schade. Doorheen de werkzaamheden blijven zij uw aanspreekpunt. Op die manier bent u tijdens de werken verzekerd van een rechtstreeks contact met Elia.

De afspraken en vergoedingen hangen af van de werken die Elia uitvoert. In het landbouwprotocol vindt u alle informatie over de vergoedingen per type werk.

De toegankelijkheid van landbouwpercelen rondom de werfzone wordt gegarandeerd, of in het geval dit niet mogelijk zou zijn vergoed conform het protocolakkoord.

Tijdens de aanleg van een ondergrondse hoogspanningsverbinding worden drainages die gekruist worden doorsneden. Waar dit het geval is, herstelt en/of vervangt Elia de drainages. In de praktijk wordt meestal de drainage vervangen omdat een herstel van oude drainages moeilijk goed uit te voeren is. De herstellingen/vervangingen worden op een later moment uitgevoerd, na zetting van de bodem in de opgevulde sleuf. De manier waarop herstel of vervanging plaatsvindt, staat beschreven in een door een expert op maat gemaakt ‘drainage herstelplan’ dat met de betrokkenen wordt afgestemd. Het finale drainageplan wordt ondertekend door Elia en de eigenaar.

Bij de bouw van nieuwe hoogspanningslijnen wordt de afstand tussen de elektriciteitsdraden en de grond afgestemd op de aanwezige activiteiten. De hoogspanningslijnen en –masten worden in functie van de landbouwactiviteiten hoger ontworpen en gerealiseerd dan wettelijk minimaal vereist.

Boven landbouwgrond wordt bij het bepalen van de hoogte van luchtlijnen rekening gehouden met de hoogte van moderne landbouwmachines. De doorgang wordt onder nieuwe hoogspanningslijnen steeds gewaarborgd. Het inklappen van lange sproeibomen onder de hoogspanningslijn kan op deze plaatsen wel beperkt worden.

Boven en naast bestaande bedrijfsgebouwen wordt voor de bepaling van de hoogte van de geleiders rekening gehouden met de aanwezige gebouwen (stallen, serres, …) en mogelijke toekomstige uitbreidingen van deze activiteiten. Dit geldt tevens voor niet-landbouw-bedrijfsgebouwen.

Nieuwe hoogspanningslijnen boven serres worden van vogelbebakening voorzien om botsingen van vogels met de geleiders maximaal te vermijden. Glastuinbouwbedrijven waar een nieuwe hoogspanningslijn boven de serres wordt gebouwd, kunnen een vergoeding van Elia krijgen om het glas op een deel van hun serre te vervangen door veiligheidsglas. Bij bestaande hoogspanningslijnen geeft Elia vanuit goed nabuurschap een forfaitaire vergoeding in het geval een vogel die tegen een hoogspanningslijn gevlogen is schade zou veroorzaken.

Bij ondergrondse kabelverbindingen wordt de kabel dieper gelegd dan wettelijk vereist om rekening te houden met de landbouwactiviteiten. Zo wordt gegarandeerd dat het ploegen van akkers zonder enig probleem kan gebeuren. Als extra beschermingsmaatregel worden boven de kabels nog waarschuwingslinten/-netten en veiligheidsplaten aangebracht en dienen als waarschuwing en fysieke bescherming bij eventuele niet-reglementaire graafwerken.

Het gebruik van gps-gestuurde landbouwmachines en drones zal in de toekomst sterk toenemen. Elektrische en magnetische velden veroorzaken geen verstoring van gps-signalen. Net zoals bomen en gebouwen kunnen hoogspanningsmasten wel een fysiek obstakel vormen voor een gps-signaal. In normale omstandigheden zijn er 8 à 10 satellieten bereikbaar. Voor een nauwkeurige positiebepaling zijn er slechts 4 noodzakelijk dus zou het wegvallen van 1 signaal geen probleem mogen vormen indien de apparatuur correct geïnstalleerd is.

Indien er zich na de bouw van een hoogspanningslijn toch problemen zouden voordoen, helpt Elia de landbouwer om een oplossing te vinden met betrokken landbouwer en de leverancier van de apparatuur.

Rond hoogspanningslijnen zijn voor drones geen specifieke luchtvaartbeperkingen van toepassing zoals er zijn rond vliegvelden, militaire zones etc. De hoogspanningslijn en -masten zijn uiteraard een fysiek obstakel waarmee rekening gehouden moet worden in de risico-analyse die de gediplomeerde dronepiloot maakt voor de vlucht. Om op minder dan 30m van een hoogspanningsmast te mogen vliegen is een toelating van het Directoraat-generaal Luchtvaart nodig.

Vluchten in de buurt van hoogspanningslijnen zijn perfect mogelijk, mits naleving van een aantal eenvoudige veiligheidsvoorwaarden:

- Het gebruik van een toestel dat voor zijn oriëntatiebepaling niet afhankelijk is van een kompas is nodig omdat een klassiek kompas verstoord wordt door het metaal in de mast. Drones die een nauwkeurige locatiebepaling vereisen hebben sowieso een RTK-GPS-module (zoals de landbouwmachines voor precisielandbouw).
- De instellingen bij het verlies van contact met de drone dienen rekening te houden met de aanwezigheid van de hoogspanningslijn. Een drone die contact verliest zal normaal opstijgen tot

een obstakelvrije hoogte en naar zijn opstijgpositie terugkeren. De hoogte waar hij naar opstijgt moet hierbij gelimiteerd worden zodat hij de geleiders niet kan raken.
- De drone mag niet tussen de geleiders door vliegen of binnen het mastlichaam vliegen.

1.3.3 Beleid inzake landschap en archeologie

Bij erg zichtbare projecten, zoals de bouw van een nieuwe luchtlijn of hoogspanningsstation, neemt Elia maatregelen om de impact op het landschap te beperken. Elia doet dat door:

- Het ontwerp van het hoogspanningsstation aan te passen aan de omgeving.
  Bij de oprichting van nieuwe stations wordt in overleg met de bevoegde overheden een plan opgesteld voor de aanleg van de site. Naar aanleiding hiervan kan eveneens een studie worden uitgevoerd naar de impact op het landschap. Het doel is de visuele hinder van het station te beperken door bijvoorbeeld een aangepast materiaalgebruik of rond het station groenschermen aan te planten.
  Wat de landschappelijke integratie precies inhoudt ter hoogte van hoogspanningsstations, hangt af van de omgeving. Binnen een industriële omgeving wordt geen groenbuffer voorzien op de randen waar naastliggend bedrijvigheid aanwezig is. Op de randen die niet grenzen aan bedrijvigheid, wordt wel landschappelijke integratie voorzien, indien het zinvol is.
- Een landschapsexpert aan te stellen die een voorstel opmaakt met mogelijke verbeteringen voor het landschap. Dit landschapsontwerp is een onderzoek naar een werkwijze en middelen voor het inpassen van het hoogspanningstracé in zijn ruimere omgeving. Bij nieuwe bovengrondse hoogspanningslijnen wordt via deze landschapsstudies nagegaan op welke wijze een maximale landschappelijke integratie mogelijk is. Dit kan bijvoorbeeld door acties waarbij groenschermen opgetrokken worden in de ruime omgeving van de hoogspanningslijn en struiken en bomenrijen aangeplant worden. Door rekening te houden met het aanwezige landgebruik worden conflicterende ingrepen vermeden.
- Een budget te voorzien om de voorstellen tot verbetering te realiseren. Hiervoor wordt een fonds beschikbaar gesteld waarop terreineigenaars- en gebruikers in de buurt van de nieuwe infrastructuur beroep kunnen doen om op hun percelen visuele maatregelen te nemen zoals de aanplanting van bomenrijen, hagen of hoogstammen. Dit gebeurt op vrijwillige basis en de gronden blijven eigendom van de huidige eigenaar.

In overleg met de lokale overheden wordt bepaald welke acties uit het rapport van de landschapsexpert prioritair budget krijgen.

De aantasting van bouwkundig erfgoed wordt vermeden door masten zodanig in te planten dat de gebouwen van het erfgoed niet verwijderd dienen te worden en door effecten op stabiliteit/zettingen te voorkomen.

Op projectniveau wordt een archeologienota opgemaakt. Indien dit onderzoek aantoont dat er belangrijke archeologische waarden aanwezig zijn zullen op projectniveau de maatregelen uit de archeologienota uitgevoerd worden (vb. beperkt verplaatsen van de mastlocatie of opgravingen).

1.3.4 Beleid natuurbescherming

De natuurmaatregelen zijn afhankelijk van de omgeving waarin de nieuwe luchtlijn of het hoogspanningsstation zich bevinden. Mogelijke maatregelen zijn:

- Bebakening plaatsen op de luchtlijnen zodat ze goed zichtbaar zijn voor vogels;

- Bossen aanplanten, bij voorkeur in de omgeving waar ontbost moet worden;
- Bomen/struiken/hagen aanplanten, bij voorkeur waar individuele bomen of bomenrijen/houtkanten gekapt moeten worden;
- Mastvoeten natuurvriendelijk inrichten (stapstenen aanleggen) zodat dieren onder de hoogspanningsmasten een veilige schuilplaats hebben;
- Een ecologische inrichting van de groene zones in hoogspanningsstations.

Elia heeft een beleid uitgewerkt om het aantal vogels dat tegen hoogspanningslijnen vliegt te reduceren. Om de zones met hoge risico's te bepalen werd voor het eerst in 2012 een desktopstudie uitgevoerd door INBO, Natuurpunt, Natagora en Vogelbescherming Vlaanderen. Hiervan is in 2020 een nieuwe versie afgerond.

Op basis van de risicokaarten uit 2012 is voor bestaande hoogspanningslijnen een lijst opgesteld met locaties waar door bebakening het aanvliegrisico door grote en zeldzame vogels kan worden gereduceerd. Aan de hand van terreinbezoeken werd het aanvliegrisico voor deze lijst in 2015 gecontroleerd en aangepast om tot een gevalideerde lijst van meest risicohoudende hoogspanningslijnen te komen. De bebakening van deze lijnen kan gebeuren in het kader van andere onderhoudswerken aan die hoogspanningslijnen. De hoogspanningslijn moet buiten dienst zijn zodat mensen veilig de bebakening kunnen plaatsen.

Bij de tracébepaling van nieuwe hoogspanningslijnen wordt op basis van het (mogelijke) tracé nagegaan waar zich voor vogels belangrijke risico's zullen voordoen, op basis van de eerder vermelde risicostudies. Na de keuze van een tracé voor een nieuwe hoogspanningslijn en bij de aanpassing van een bestaande hoogspanningslijn wordt nagegaan waar vogelbebakeningen nuttig zijn. Hiervoor wordt uitgegaan van de bestaande studies en wordt een veldstudie uitgevoerd om de meest recente evoluties (toenames of afnames van vogelbewegingen) mee te nemen in de risicoinschattingen om de inschattingen uit de eerdere studies te actualiseren. Als onderdeel van de veldstudie wordt door de uitvoerder (bv Natuurpunt) voorgesteld waar bebakeningen nodig zijn en waar niet. De bebakening wordt conform de veldstudies in het project opgenomen en geplaatst op het moment dat de geleiders en waakdraden worden getrokken.

Om veiligheidsrisico's of kortsluiting door vallende bomen te vermijden mogen er geen te hoge bomen groeien in de nabijheid van hoogspanningslijnen. Tot voor kort bestond het reguliere beheer erin om na 3 à 7 jaar een strook onder de lijnen vrij te maken van opgaande vegetatie. Deze veiligheidszone dient normaal van opgaande begroeiing te worden gevrijwaard in functie van de eenduidigheid van het beheer.

Met de nieuwe aanpak wordt voor zowel bestaande als nieuwe hoogspanningslijnen nagegaan of die strook kan worden ingericht met een meerwaarde voor de natuur. Er wordt onderzocht of de corridor onder de geleiders (in natuur- of bosgebied of onder de mastvoeten in landbouwgebied) kan worden ingericht met stabiele vegetaties. Bij het kruisen van bosgebieden zal typisch gezocht worden naar een streekeigen inrichting van een mantel-zoom-vegetatie met centraal onder de geleiders open plekken met bv. brem, heide of grazige zones als onderdeel van het bosgebied. De inrichting van laagblijvende vegetaties in natuurgebieden wordt afgestemd op de omliggende vegetaties en de doelstellingen van het beheerplan indien dit bestaat. In landbouwgebied wordt onderzocht hoe de inrichting van de mastvoeten een ecologische meerwaarde kan krijgen zonder dat de gebruiker van de omliggende percelen hier nadeel van ondervindt.

Waar de luchtlijn bomenrijen kruist en de bomen omwille van veiligheidsredenen gedeeltelijk verwijderd dienen te worden, zoekt Elia naar een manier om de lijnbeplanting te behouden door een heraanplanting te doen met knotbomen, struiken, … rekening houdende met de lokale vereisten. Soms kan het rooien van bomen vermeden worden door de aanwezige bomen in een voldoende vroeg stadium van de boomontwikkeling op een deskundige wijze in te korten en te snoeien. Hiervoor wordt gekeken naar de boomsoort, de maximaal toelaatbare groeihoogte en groeikracht.

Individuele bomen die gerooid worden omdat ze te dicht bij de geleiders komen, worden niet op dezelfde locatie vervangen maar indien mogelijk in de onmiddellijke omgeving vervangen door andere bomen. Individuele bomen, bomenrijen, houtkanten en hagen die tijdens de werf gerooid worden en zich buiten de veiligheidszone bevinden, worden in de regel op dezelfde locatie vervangen.

Bij de aanleg van ondergrondse verbindingen geldt dat individuele bomen en bomenrijen die gelegen zijn binnen de werfstrook, maar zich buiten de voorbehouden zone bevinden, in de regel op dezelfde locatie vervangen worden. Indien structuurbepalende bomen gelegen zijn binnen de werkstrook, wordt de werkstrook plaatselijk versmald indien mogelijk zodat het rooien van deze bomen kan vermeden worden.

De vergoedingen voor de eigenaars van te kappen bomen en bossen gebeuren op basis van expertises door een externe bosexpert.

Indien er ontbossingen nodig zijn wordt gezorgd voor een effectieve herbebossing (compensatie in natura), bij voorkeur in de omgeving van de ontbossing.

Tijdens de aanlegfase worden maatregelen genomen om de schade aan de natuur zo veel mogelijk te beperken. Maatregelen naar bodem, water, geluid en licht werden hoger reeds besproken. Verstoring tijdens de broedperiode wordt beperkt door bouwwerken maximaal buiten de broedperiode uit te voeren en/of de werken aan te vatten voordat vogels tot nestelen over gaan zodat deze tijdelijk een andere nestlocatie zoeken.

Om het verlies van natuur te vermijden, worden kleine gelokaliseerde kwetsbare zones zoals poelen vermeden bij het bepalen van de mastlocaties en werfzones. Verdroging van grondwaterafhankelijke vegetaties door bemalingen aan mast- en kabelwerven wordt vermeden door de bemalingen te beperken in de tijd en de werken uit te voeren buiten het actieve groeiseizoen.

Indien systemen met een zoetwaterlens boven een zoutwaterlaag (zoals kustduinen) dienen onderboord te worden, zal de optimale diepte van de boring bepaald worden om een verstoring van het hydrologisch systeem te vermijden. Door aangepaste uitvoeringstechnieken (vb het plaatsen van kleistoppen) te gebruiken wordt vermeden dat zoetwaterlenzen verdwijnen indien ze toch zouden doorboord worden.

1.3.5 Gemeenschapsfonds

Naast de vergoedingen en de maatregelen om hinder te beperken, werd een aanvullende aanpak uitgewerkt om bij de uitvoering van projecten met een grote impact (zoals de bouw van een nieuwe luchtlijn of hoogspanningsstation) de lokale gemeenschap enerzijds de resterende hinder te vergoeden en anderzijds hen niet alleen nadelen maar ook lokale voordelen te bezorgen.

Ondanks de voorziene maatregelen en vergoedingen heeft een nieuwe luchtlijn of een nieuw hoogspanningsstation een blijvende impact op de omgeving. Door financieel bij te dragen aan het gemeenschapsfonds, dat ter beschikking staat van de lokale gemeenschap die een impact ondervindt van de infrastructuurwerken, helpt Elia om de leefomgeving van de inwoners te verbeteren.

Voor bepaalde infrastructuurprojecten wordt bij de opstart van het project een budget bepaald. Van zodra de vergunningen zijn verkregen, vult Elia het fonds aan. De organisatie Be Planet, een stichting van openbaar nut, beheert het fonds. De focus ligt op projecten die de ecologische transitie en energietransitie bevorderen en die de leefomgeving verbeteren.

1.3.6 Aandacht voor mobiliteit tijdens de werffase

Een aspect waar tijdens de werken soms in de ruime omgeving van projecten een invloed op kan zijn is verkeer en mobiliteit. Elia neemt verschillende maatregelen om de impact van de werken hierop te beperken:

- Elia garandeert dat de toegang tot de woning van de omwonenden altijd mogelijk blijft.
- Het werfverkeer maakt gebruik van de kortste, veiligste en best bereikbare routes.
- Wanneer Elia haar elektriciteitsdraden verwijdert of trekt ter hoogte van (spoor)wegen of andere belangrijke infrastructuur, wordt gebruik gemaakt van houten portieken om onderbrekingen van het verkeer zo veel mogelijk te vermijden.
- Wanneer er omleidingen nodig zijn voor het gewone verkeer, wordt dit met de wegbeheerder (gemeente of gewestelijke overheid) afgesproken en duidelijk gecommuniceerd naar buurtbewoners.

Bijlage 9 Verklarende woordenlijst

Alternatief	Een andere keuzemogelijkheid, beantwoordend aan de doelstelling van het project, omvattende: realisatie-, locatie- en uitvoeringsalternatief.
Antennestructuur	Een verbinding die de enige verbinding vormt voor een hoogspanningsstation of productie-eenheid, als het ware een doodlopende straat.
Bemaling	Afpompen van water om het grondwaterniveau plaatselijk te verlagen zodat werken in droge grond kunnen uitgevoerd worden.
Bodemprofiel	Verticale bodemdoorsnede waarin de opbouw en de ontwikkeling van de bodem waarneembaar is.
Bodemverdichting	Samenpersen en dichter maken van de bodem.
Bundelen	Het bouwen van een nieuwe hoogspanningslijn parallel aan een reeds bestaand infrastructureel object zoals een snelweg, kanaal, spoorweg of andere hoogspanningslijn.
Calamiteit	Ongeval of rampsituatie
COP 21	De klimaatconferentie van Parijs 2015. Dit was de 21e jaarlijkse vergadering van de Conference of the Parties
Discipline	Milieuaspect dat in het kader van milieueffectrapportage onderzocht wordt, door de regelgeving vastgelegd als de disciplines 'mens', 'fauna en flora', 'bodem', 'water', 'lucht', 'licht, warmte en straling', 'geluid en trillingen', 'klimaat', monumenten en landschappen en materiële goederen'.
Draadslachtoffer	Term voor vogels die in aanvlieging komen met bliksem- of fasedraden.
Draadstel	Set van drie geleiders die samen een hoogspanningsverbinding vormen.
Emissie	Uitstoot van stoffen in de omgevingslucht.
EM-velden	ElektroMagnetische velden
Geleider	Draad waar elektrische energie doorheen kan.
Geplande situatie	Toestand van het studiegebied tijdens en na de uitvoering van het project.
Grondwaterkwetsbaarheid	De grondwaterkwetsbaarheid van een gebied is een code die het risico op verontreiniging van het grondwater in de bovenste watervoerende laag aangeeft (bron: dov).
Hoogspanningslijn	Bovengrondse hoogspanningsverbinding
Hoogspanningsnet	Netwerk van aan elkaar gekoppelde hoogspanningslijnen, transformators en componenten waarmee grote hoeveelheden elektriciteit met hoge efficiëntie getransporteerd kunnen worden over grote afstanden, op een spanning van 34 kV of hoger.
Horta	380 kV-hoogspanningsstation in Zomergem.

Immissie	De wijziging van de aanwezigheid van verontreinigingsfactoren in atmosfeer, bodem of water rond één of meer bronnen van verontreiniging ten gevolge van emissie uit deze bron(nen).
Inlussen	Het verbinden van een hoogspanningsstation via twee afzonderlijke hoogspanningsverbindingen.
Integraal waterbeleid	Het beleid gericht op het gecoördineerd en geïntegreerd ontwikkelen, beheren en herstellen van watersystemen met het oog op het bereiken van de randvoorwaarden die nodig zijn voor het behoud van dit watersysteem als zodanig, en met het oog op het multifunctionele gebruik, waarbij de behoeften van de huidige en komende generaties in rekening wordt gebracht.
Interconnectie	Hoogspanningsverbinding tussen twee landen.
Kabelverbinding	Ondergrondse hoogspanningsverbinding
KBEI	Koninklijk besluit tot vaststelling van Boek 1 betreffende de elektrische installaties op laagspanning en op zeer lage spanning, Boek 2 betreffende de elektrische installaties op hoogspanning en Boek 3 betreffende de installaties voor transmissie en distributie van elektrische energie. Dit is de wetgeving die de wettelijke veiligheidsafstanden definieert.
Luchtlijn	Hoogspanningslijn
Magnetisch veld	Statisch of dynamisch ruimtelijk krachtveld dat berust op elektromagnetisme en dat onder andere ook in de nabijheid van hoogspanningscomponenten te vinden is.
MER-deskundige	Natuurlijke of rechtspersonen door de Vlaamse minister bevoegd voor het leefmilieu als deskundige voor het opstellen van een milieueffectrapport in een of meerdere disciplines 'mens', 'mobiliteit', 'biodiversiteit', 'bodem', 'water', 'lucht', 'licht, warmte en straling', 'geluid en trillingen', 'klimaat' en 'landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie'.
Milderende maatregel	Maatregelen die voorgesteld worden om nadelige milieueffecten van het project te vermijden, te beperken en zoveel mogelijk te verhelpen.
m-mv	Meter onder het maaiveld.
Mof	Verbindingsstuk waarmee de uiteinden van twee stukken geleider van een luchtlijn of een grondkabel met elkaar worden verbonden.
Natura2000	Europees netwerk van beschermde natuurgebieden, bestaande uit SBZ-V en SBZ-H.
Nemo-Link	De (eerste) elektriciteitsinterconnectie tussen België en het Verenigd Koninkrijk
Netverlies	De hoeveelheid elektrische energie die verloren gaat tijdens het transport ervan.
N-1 situatie	N staat voor "het totaal aantal netelementen". "N min één" is dus een situatie waarbij er 1 netelement minder beschikbaar is dan in de normale toestand.

Offshore	De aanduiding van activiteiten die plaatsvinden op enige afstand van de kust, in het water.
Onshore	De aanduiding van activiteiten die plaatsvinden op het vaste land.
Ontwikkelingsscenario	Beschrijft de evolutie van het studiegebied in de toekomst, rekening houdend met de autonome evolutie van het gebied en met de evolutie onder invloed van plannen en beleidsopties.
Redundantie	Volwaardig dubbel uitgevoerd systeem. In de hoogspanningswereld betekent redundantie dat er voor een verbinding een dubbel zo groot aantal circuits en transformators beschikbaar is dan wat er op normale dagen nodig is. Wanneer een hoogspanningslijn redundant is, zijn er dus altijd twee of meer circuits aanwezig en beschikbaar
Referentiesituatie	De toestand van het studiegebied, waarnaar gerefereerd wordt in functie van de effectvoorspelling, omvattende : de huidige, gewijzigde en de wenselijke situatie.
Relict	Een relict is een overblijfsel uit vroegere tijd dat nog getuigt van de toestand die toenmaals was. Met betrekking tot landschappen kunnen relicten zeer divers in aard zijn en getuigen in vele gevallen van een wordingsgeschiedenis. In wezen zijn dit punt-, lijn- en vlakvormige relicten.
Rooien	Het verwijderen van bomen en houtachtige gewassen met inbegrip van hun wortelstelsel.
Stevin	Het hoogspanningsstation Stevin is een 220/380/150kV-station in Zeebrugge. De Stevin-as is de 380kV-verbinding tussen het hoogspanningsstation Stevin en het hoogspanningsstation Horta.
Studiegebied	Het gebied dat bestudeerd wordt in functie van het vaststellen van de milieueffecten en afhankelijk is van de invloedssfeer van de milieueffecten.
Transportcapaciteit	De hoeveelheid elektrisch vermogen die over een individuele hoogspanningsverbinding kan worden getransporteerd
µT	Microtesla; een miljoenste van een Tesla.
Vakwerkmast	Hoogspanningsmast die bestaat uit een raamwerk van metalen latten.
Valbereik	Ruimte die een omvallende hoogspanningsmast in beslag neemt.
Vermaasd net	Elektriciteitssysteem waarbij hoogspanningsstations steeds verbonden zijn met andere hoogspanningsstations via meerdere verbindingen. Vermazing zorgt er voor dat het uitvallen van een verbinding geen invloed heeft op de bevoorradingszekerheid .
Watertoets	Met de “watertoets” gaat de overheid na of een ingreep schade kan veroorzaken aan het watersysteem. Het watersysteem is het geheel van alle oppervlaktewater (gaande van water dat een helling afstroomt tot de rivieren), het grondwater en de natuur die daarbij hoort.