



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 Metaalmoetheid 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 100 μ T.

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.

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 gespecificeerd. 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 onderzoekaankpak 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 "Fradaiic 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 onderzoeksinstituten 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 (mondelijke 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 experts 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
	crop*	112	31	2	1
	plant*	2133	47	11	3
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")	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 100 μ T 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 100 μ T 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 onderzoekstappen 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 stuurgroepen 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

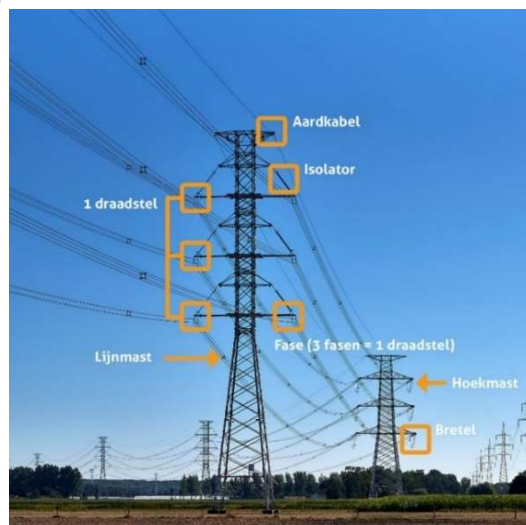
Twee aspecten van hoogspanningslijnen zijn van belang om het effect ervan op de landbouw na te gaan. De fysieke aanwezigheid van de boven- of ondergrondse hoogspanningslijn, alsook het elektromagnetisch veld dat rond deze hoogspanningslijn ontstaat, kunnen mogelijk voor problemen zorgen. In dit deel 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).

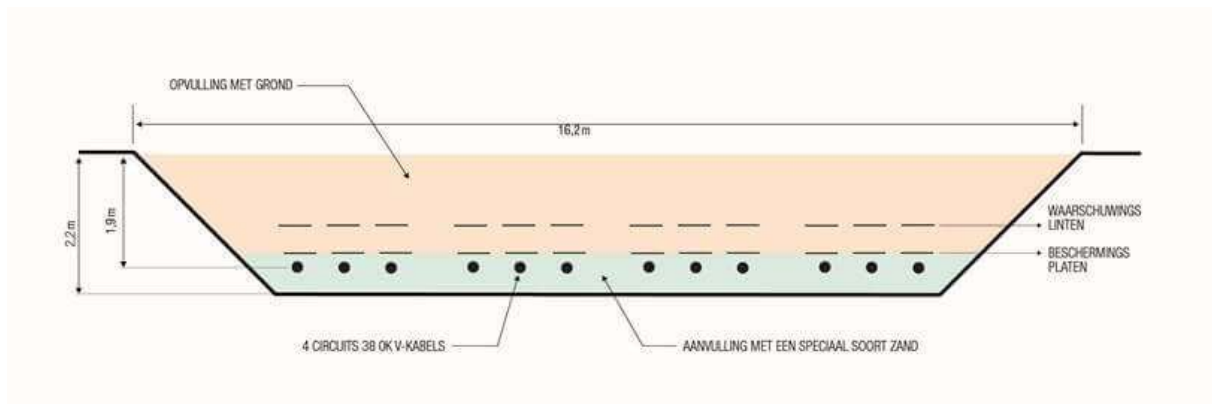
Voor een hoogspanningslijn moet het effect van de fysieke aanwezigheid in functie van een aantal factoren worden geëvalueerd. De mast en de lijnen nemen bovengrondse ruimte in, terwijl de mastvoet ervoor zorgt dat een deel van de teeltoppervlakte ingenomen wordt. Naast het masttype en het aantal draadstellen is de hoogte waarop de fase draden en de aardkabel zich bevinden een belangrijke factor voor de inname van die bovengrondse ruimte. Het punt waarin de onderste fase draden zich het dichtst bij het maaiveld bevinden, ligt ongeveer in het midden tussen de 2 masten. De afstand tussen de fase draden 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 fase draden. De wettelijke minimale afstand die steeds tussen de fase draden 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 fase draden zich op hun laagste punt, dus voor de onderste fase draad in het midden van de overspanning, op 14m boven het maaiveld bevinden. Aan de mast bevinden de fase draden 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 sinusoidaal 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 sinusoidaal 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 μ 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 magnetische inductie van 1,26 μT en is 1 μT 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 11,3 μT 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 11,3 μT . De stroomsterkte die 50% van de nominale stroom bedraagt, wordt 95% van de tijd niet overschreden en bedraagt maximaal 15,6 μT . 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 31,3 μT (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 37,7 μT (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 37,7 μT 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 37,7 μT bedragen.

Voor ondergrondse hoogspanningsverbindingen ligt de gemiddelde magnetische fluxdensiteit op 1,5m boven het maaiveld tussen 0,6 en 10 μT , 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 ontleding 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) uitstreken 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 gap-ontlading 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 capacatieve 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 metaalmoetheid 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 Metaalmoetheid nabij hoogspanningslijnen

Eén van de bezorgdheden van landbouwers is dat metaalmoetheid 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 metaalmoetheid en de aanwezigheid van een hoogspanningslijn (pers. communicatie Agoria, 13/05/2020). Ook Elia gaf aan geen aanwijzingen te hebben voor versnelde metaalmoetheid 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 metaalmoetheid in constructies nabij een hoogspanningslijn kon niets worden teruggevonden. Er lijkt op dit moment echter geen aanwijzing te zijn voor het voorkomen van versnelde metaalmoetheid onder hoogspanningslijnen.

Hoofdstuk 5. Impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologie

Elektrische 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):

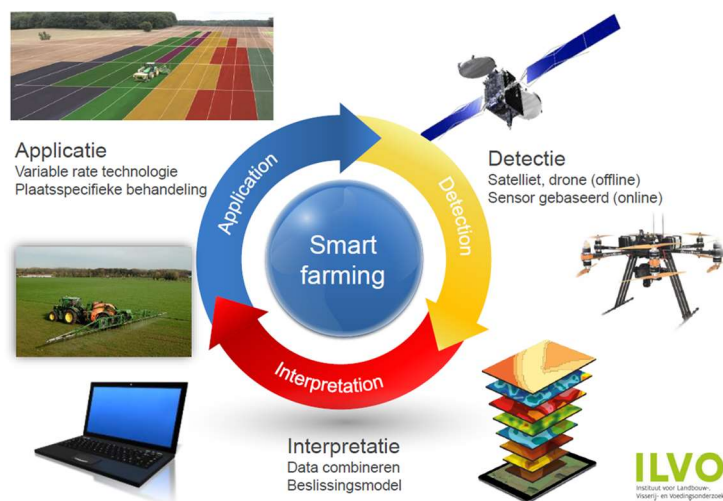
- Voldoende lage emissie. Het EMV opgewekt door de apparatuur mag de werking van radio- en telecommunicatie apparatuur en andere apparatuur niet verstoren.
- Voldoende hoge immuniteit. De apparatuur wordt weinig verstoord door externe elektromagnetische velden, waardoor ze hierin kan opereren zonder 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 fluxdichtheid van $37,7\mu\text{T}$. Aangezien de magnetische fluxdichtheid op 1,5m boven het maaiveld maximaal $31,3\mu\text{T}$ bedraagt (magnetische fluxdichtheid 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 faseleden van een bovengrondse lijn aanhouden, zullen in normale omstandigheden geen problemen met EMC optreden, aangezien de magnetische fluxdichtheid in die omstandigheden minder dan $37,7\mu\text{T}$ bedraagt.

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de impact van hoogspanningsinfrastructuur op technologische toepassingen van preciselandbouw. Preciselandbouw 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 37,7 μ T, zie hoger) of o.b.v. productnormen (meestal is op de website van de fabrikant terug te vinden welke standaarden werden gebruikt¹). 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 draagt 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 (γ_{av}) 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 fase draad 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 fase draden 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 vluchttuitvoeringen 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 fase draden 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 fase draden 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 dichters 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 mogelijk een extra kost met zich meebrengen.

Discussie en conclusie proximal sensing

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 mogelijk 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 Géométrie, 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 gapontlading kunnen worden verstoord. De huidige dGPS-systemen werken echter met hogere frequentere 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 satelliet signaal, waardoor dit de ontvanger niet of met vertraging bereikt. Wanneer het satelliet signaal de ontvanger met vertraging bereikt, leidt dit tot een foutieve positiebepaling, aangezien de positie wordt afgeleid uit het tijdsverschil tussen het verzenden van het satelliet signaal 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 satelliet signaal 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 navigatie-toepassing 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 fase draden 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 ijssval, 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, ijssval, zinkvervuiling & botulisme door dode vogels.

6.1 Teeltoppervlak, gewasproductiviteit en bodem

6.1.1 Aanwezigheid hoogspanningslijnen

6.1.1.1 Bovengrondse verbindingen

Afname teeltoppervlak

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 250m² 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 (Håkansson, 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 vollegrondsgroenteteelt. 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 beregeningsinstallatie, 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 afgeschermd 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

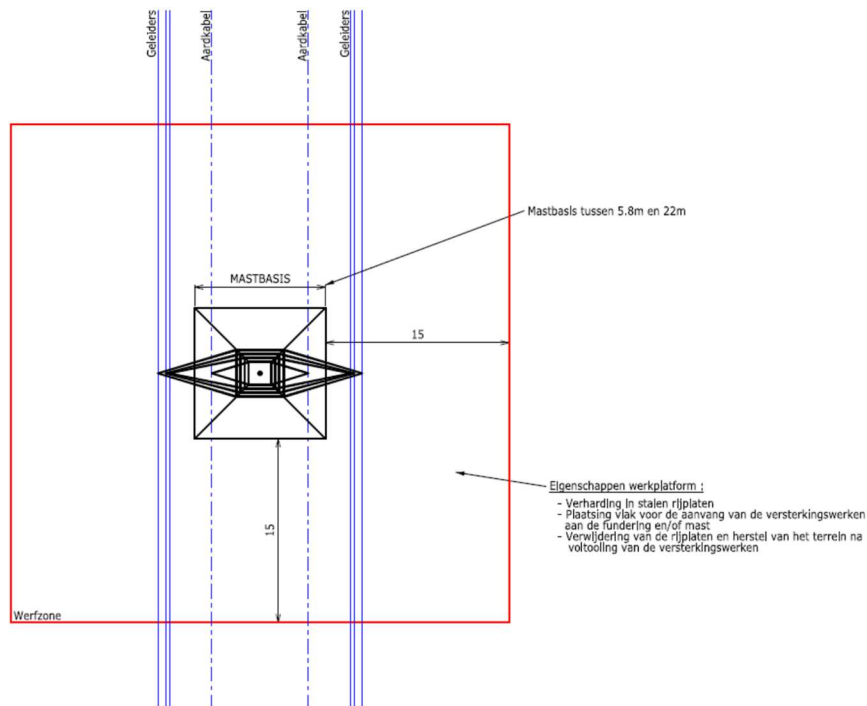
Ondergrondse verbindingen gaan ook gepaard met warmte-emissie. Truby (2018) voerde een uitgebreide studie uit naar de invloed van de warmte-emissie van ondergrondse kabels op de bodem en gewasproductiviteit. Hiervoor werden drie proeven, verspreid over Duitsland, opgevolgd. Twee proeven keken naar de 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 (Rasmus 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, winter-tarwe, 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

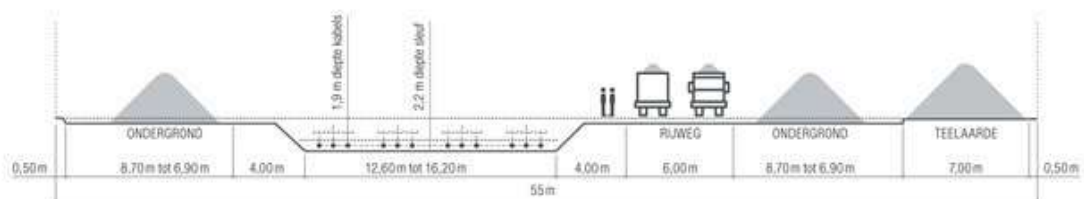
6.1.2.1 Afname teeltoppervlak en beschrijving aanleg

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 wegen 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 teeltaarde. De aanvulling gebeurt in verschillende lagen die telkens aangedamd worden. Tijdens deze werken worden in de grond waarschuwingnetten 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; Rasmus 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 bereiden 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 teeltaarde 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*.

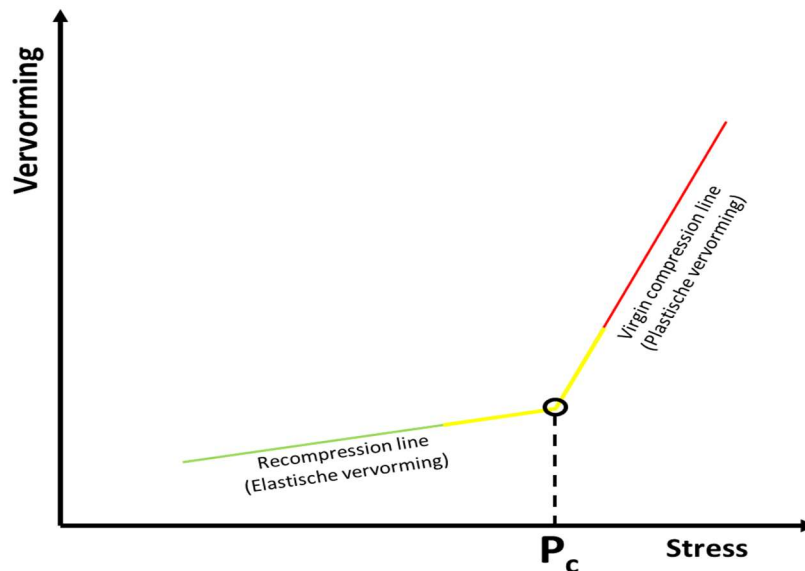
Tekeste et al. (2019) onderzochten de resulterende bodemverdichting bij een werfzone in de staat Iowa van de Verenigde Staten. De proef werd opgevolgd in een akkerbouwperceel dat behoort tot de klei textuurklasse. Het experiment deelde de werfzone op in vier verschillende stroken en een controle strook, die niet bereiden werd tijdens de werken. De experimentele stroken binnen de werfzone bestonden uit de kabelsleuf, de opslagstrook voor ondergrond en twee bereiden 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 ($1,55\text{g/cm}^3$) en bij de meest bereiden zones zelfs boven de bulkdichtheid waarbij inhibitie van wortelgroei optreedt ($1,65\text{g/cm}^3$) (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 ($1,60\text{g/cm}^3$) wordt de drempelwaarde waarbij belemmering van wortelgroei optreedt bij kleibodems ($1,55\text{g/cm}^3$) overschreden. Dieper in de bodem (20 - 80cm diepte) werd ook de drempelwaarde waarbij inhibitie van wortelgroei optreedt ($1,65\text{g/cm}^3$) 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 cmalkonstruatiemachines 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 (P_c) 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 $1,42\text{g/cm}^3$ 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/cm³) in bulkdichtheid in vergelijking met de controle (tot 1,59g/cm³). 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).

Discussie en conclusie teeltoppervlak, gewasproductiviteit en bodem

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 teeltoppervlak permanent verloren aan de mastvoet (200 - 250m²) of de inspectieputput (225m²). Daarnaast vormen de mast en inspectieputput ook een obstakel voor allerlei landbouwkundige toepassingen. Zo ontstaan er extra kopakkers, met het daaruit voortvloeiend 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 beregning 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 bodemleven).

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 Ventilium-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 1,77m² 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 Ventilium-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 microbiel 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 potentiële 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 ($>100\mu\text{T}$) (Dimitrijevic

et al., 2013; Jankowska et al., 2015; Malkemper et al., 2018; Spasic et al., 2015; Vanbergen et al., 2019; Wyszowska 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 dicht bij de waarden liggen in de nabijheid van hoogspanningslijnen (20 - 100 μ T). Realistische waarden voor het Ventilus-project gaan van tot 15,6 μ T 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 100 μ T 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.

Discussie en conclusie nuttige organisme

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 ongewerde 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 Gorp, 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 goede 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 & ijssval

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 ijssval. 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 ijssval 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 proliferezen (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 waarschuwendes 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 micro-organismen 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).

Discussie en conclusie bijkomstige gevolgen voor gewasproductie

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 ijssval 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

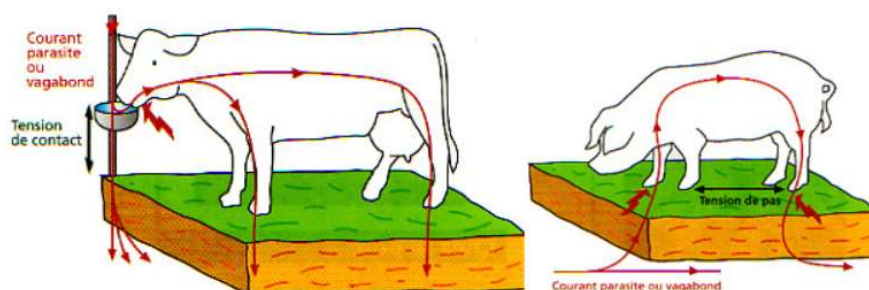
Bij landbouworganisaties en veehouders bestaat ongerustheid bij de plaatsing van nieuwe hoogspanningslijnen dichtbij landbouwactiviteiten. Ze zijn bezorgd over de gezondheid van hun dieren en welke economische impact dit zou kunnen veroorzaken (extra kosten of verlies van inkomsten). De bezorgdheden 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 productietekenen en dagelijkse water inname. Tijdens de 8^{ste} 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.

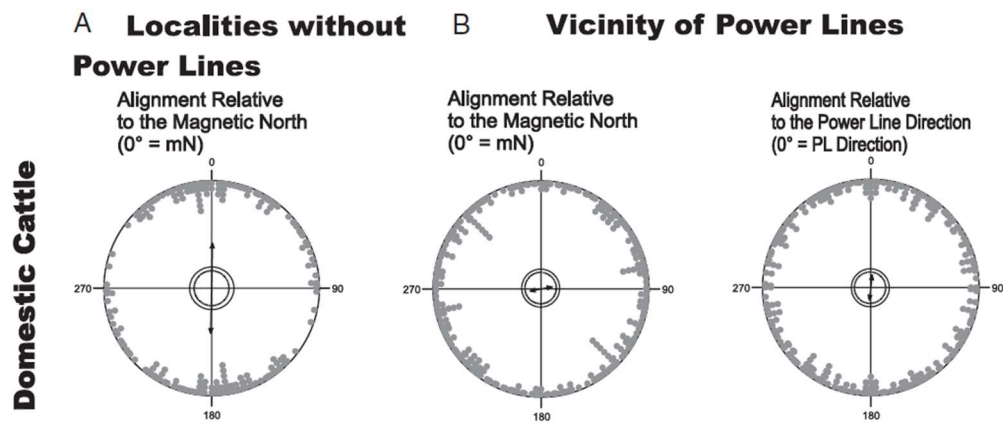
Conclusie elektrische velden

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 positivering van de kudde (Burda et al., 2009)

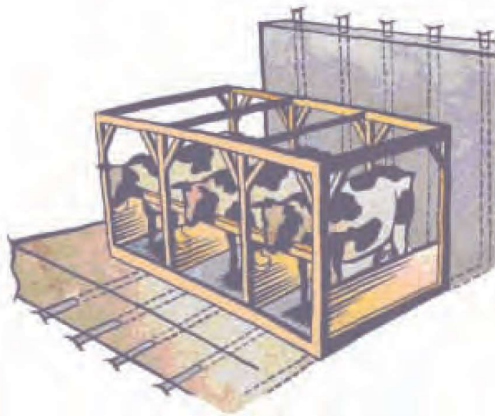
Wanneer de kuddes zich in de buurt van hoogspanningslijnen bevonden (tot 150m) was de oriëntatie meer random zonder een preferentie voor de noord-zuid as (Figuur 11B). Door de methodologie van het onderzoek kan men niets zeggen over de sterkte van het magnetisch veld, maar men gaat uit van $15\mu\text{T}$ bij 380kV, $8\mu\text{T}$ bij 220kV en $5\mu\text{T}$ 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 $19,4-42,1\mu\text{T}$ 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 $1,98-3,28\mu\text{T}$ 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 30 μ T



Figuur 12. Cow exposure chamber, made by Hydro-Québec, McGill University, MAPAQ and the Québec Dairy Committee

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-hersenen 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 30 μ T gezondheidsgevaars of productiedalingen veroorzaakt.

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 $10\mu\text{T}$ 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 β -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 $1\mu\text{T}$ 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 $10\mu\text{T}$ 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 proef-eieren werden 48u blootgesteld aan $1-4\mu\text{T}$ (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 gehalten 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 gehalten bij kippeneieren. De behandelingen bestonden uit $1\mu\text{T}$, $500\mu\text{T}$ en $1000\mu\text{T}$ (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 – 10 μ T, 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 schildklierhormoon, bij de andere 80 werd het uitkippen bestudeerd. De testgroep werd blootgesteld aan 10 μ T/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 10 μ T 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 100 μ T), 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 100 μ T). Bij 100 μ T 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.

Discussie en conclusie pluimvee

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 herstelfase 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 oilammeren (2-10 maand leeftijd) onder hoogspanningslijnen ($4\mu\text{T}$) en vergeleken deze met oilammeren die verder geplaatst werden ($0,03\mu\text{T}$). 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 oilammeren (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 $3,5-3,8\mu\text{T}$. 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 gehalten aan EMV om relevant te zijn voor deze literatuurstudie. Bijvoorbeeld de studie van Bernabo et al. (2010) met waarden vanaf $500\mu\text{T}$.

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 onderscheid 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 bevroegde 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.

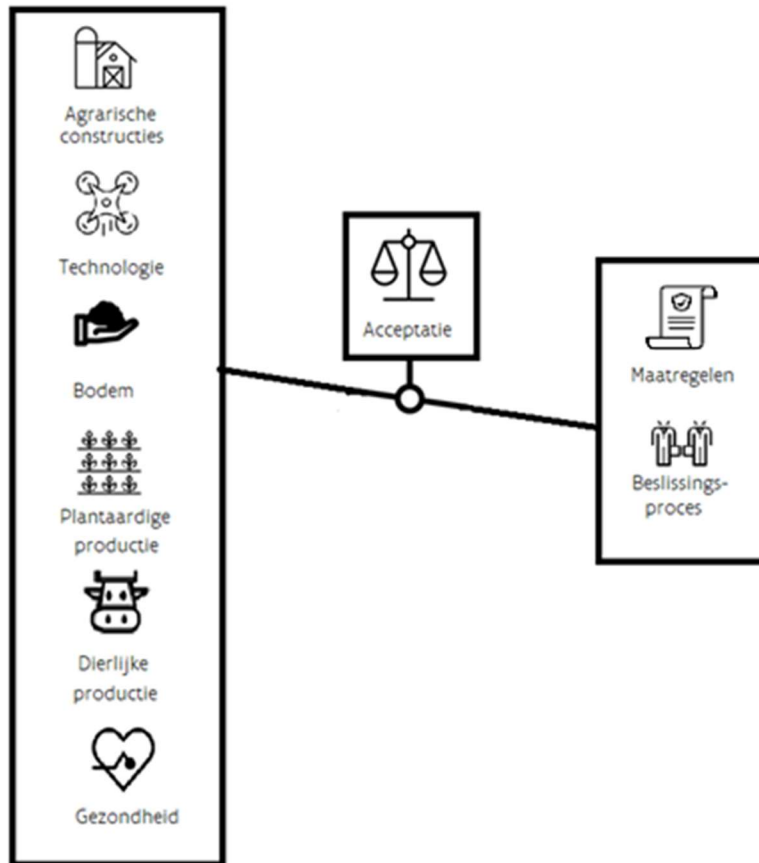
“Bezoekers durven weleens een opmerking maken over dat gezoem van de leidingen, maar wij zijn het al gewoon geworden.”

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 klimaatverandering 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 metaalmoetheid 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 dicht 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 uitzondering 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 fase draden 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 - 250m²) of inspectieput (225m²). Deze permanente structuren vormen ook een obstakel voor allerlei 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 ijssval. 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 ($10\mu\text{T}$) en ontwikkeling ($4\mu\text{T}$) van de embryo's bij relatief lage gehalten. 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 $10\mu\text{T}$, bij melkkoeien een mindere melkproductie bij $20\mu\text{T}$ en de immuniteit van lammeren werd negatief beïnvloed bij $3,5\mu\text{T}$.

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 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., Cervený, J., Gerter, O., Neef-Weisse, J., & Nemeč, 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., Cervený, J., Neef, J., Vojtech, O., & Burda, H. (2008). Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer.
- Begall, S., Malkemper, E. P., Červený, J., Nemeč, 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., Schjøning, 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., Flüher, 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. Rössli (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. *Journal 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 cows 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., & Nemeč, 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 Géométrie. (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., Eytayo, 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/aps/>
- ESA. (2018). EGNOS Signal Structure. *ESA Navipedia*. doi:https://qssc.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 bestuurd vliegtuigen 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/10.3390/s19194293>
- Hert, J., Jelinek, L., Pekarek, L., & Pavlicek, A. (2011). No alignment of cattle along geomagnetic 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., & Wyszowska, 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 Solonchic 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%99firefly%E2%80%99-aan-hoogspanningslijnen-zodat-deze-beter-zichtbaar-zijn-voor-vogels>
- Nelissen, V., Van Daele, S., Verdonck, 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). Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen, FuE-Vorhaben (FKZ 80682070), Endbericht, 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 cycle 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®.
- Schjonning, 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

- Schjøning, 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., Niedziółka, J., Lis, M., & Rzas, 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 differentiation 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 akkerlanden](http://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 (μ T)	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 μ T/4 kV/m, verblijf onder HS	CON 2 μ T
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 μ s, 100 puls/s, 1 μ T piek)	CON (sham exposed) Puls MV 1 μ T
8		effect op berensperma	-	1h, 0-2 mT, 50 Hz	-
9	24	Effect op renale ontwikkeling	Drachtige moeders, D196-D258	21,9 - 42,1 μ T	-
10	25	Effect op dracht melkkoeien en hun kalveren	dag 196-258 van de dracht	-	CON 21,9 (breech) - 42,1 (hoofd) μ T
11	8 8	Productiviteit	3x28d	2 aan - uit uit - aan - uit	herhalingen: aan CON 30 μ T, 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 μ T 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 (μ T)	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	CON 30 μ T, 60 Hz
13	88	Progesteron tijdens oestrus cyclus	3x28d (aantal dagen varieert volgens oestrus cyclus, 21-27 d)	aan - uit - aan uit - aan - uit	CON 30 μ T, 60 Hz
14	8 8		3x28d	aan - uit - aan - uit	CON 30 μ T, 60 Hz
15	8 8		3x28d	aan - uit - aan - uit	CON 30 μ T, 60 Hz
16	8 8	Effect op melkproductie en voeropname	3x28d	aan - uit - aan - uit	CON 30 μ T, 60 Hz
17	8 8	Effect op thyroxine (T4) concentratie in bloedplasma	3x28d	aan - uit - aan - uit	CON 30 μ T, 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 μ T	CON 10 μ T (50 Hz)
20	-	-	Incubatieperiode	-	-

Nummer	Resultaat	Opmerkingen
12	Melatonine gehaltenes '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 met 13,78 % 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 (μ T)	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 ren eie-	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 μ T
	4x10 ren eie-	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 μ T
	6x10 ren eie-	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 μ T
	6x10 ren eie-	Morfologie embryo	48h	Puls (500-ms puls duur, 100 pulsen per seconde), 48h	CON 1 μ T
	6x15 eieren	Morfologie embryo	48h	Sinusoïde MV, 48h	4 μ T (60 Hz)
22	3x15	Effect op IL-1 en IL-2 (immunititeit)	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 μ T 0,3 μ T 1 μ T 10 μ T
25	40	Effect op B-adrenoceptor	8 weken	intermittent blootstelling: 20 min elke 8h gedurende 3 weken (10 μ T, 50 Hz). Daarna 5 weken zonder blootstelling	-

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 (J uut.)
	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 μ T en 32% bij 10 μ T	-
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 herstelperiode werden de dieren constant samen gehouden.

Nummer	1ste auteur	Jaar	Dier	Ras	Soort studie	AC/DC	MV (μ T)	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	Stelletta 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 μ T, 50 Hz, continu	CON Sham (switched off EMF generator) 50 μ T 100 μ T	
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 μ T voor 1s met 0,5s ertussen, 50 Hz of 100 Hz Helmholtz coils in parallel en 70cm apart	CON 50 Hz 10 μ T en 50 Hz CON 100 Hz 10 μ T 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 μ T 500 μ T 1 mT	
31	-	-	-	-	-	
32	8 8	Effect op bloed melatonine en prolactine	3x28d	aan uit 16h/d	- - aan - aan uit	CON 60 Hz/30 μ T
33	2x160	Effect op thyroid hormoon op kippen embryo	21d	10 μ T, 50 Hz; continu	CON 10 μ T	
34	2x5	Effect op leukocyten	-	-	CON (0,2-0,7 μ T) 1,98-3,28 μ T	
35	20	Cortisol en groei	8 maand	4 μ T, 60 Hz, 55 kV, onder HS geplaatst	CON 4 μ T / 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 ($P < 0,02$)	-
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	-