



**Ontwerp gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan
'Ruimtelijke herinrichting van de Ring rond Brussel (R0) - deel
Noord'**

**In de gemeenten Asse, Dilbeek, Grimbergen, Kraainem, Machelen, Meise,
Vilvoorde, Wemmel, Wezembeek-Oppem, Zaventem**

Bijlage X: Futureproof onderzoek



**Vlaamse
overheid**



DE WERKVENNOOTSCHAP

**DEPARTEMENT
OMGEVING**



**Medegefinancierd door de Europese Unie
Trans-Europees vervoersnetwerk (TEN-T)**



Dit document is bijlage X van het GRUP 'Ruimtelijke herinrichting van de Ring rond Brussel (R0)-deel Noord'.

Deze bijlage bevat het '**Futureproof onderzoek**'. Het is opgebouwd uit de resultaten van het onderzoek van Loop 1 en de resultaten van het onderzoek van Loop 2.

Overzicht andere bijlagen

- Bijlage Ia: Verordenend grafisch plan
- Bijlage Ib: Plannen aangepaste beschermde dorpsgezichten
- Bijlage II: Verordenende stedenbouwkundige voorschriften
- Bijlage IIIa: Toelichtingsnota met tekstuele toelichting
- Bijlage IIIb: Toelichtingsnota kaarten
- Bijlage IV: Register met de percelen waarop een bestemmingswijziging wordt doorgevoerd die aanleiding kan geven tot een planschadevergoeding, een planbatenheffing, een kapitaalschadecompensatie of een gebruikerscompensatie
- Bijlage V: Ontwerp plan-milieueffectenrapport
- Bijlage VI: Ontwerp maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA)
- Bijlage VII: Verkeersveiligheidseffectbeoordeling (VVEB)
- Bijlage VIII: Ontwerp Ruimtelijk Veiligheidsrapport (RVR)
- Bijlage IX: Ontwerpend onderzoek
- **Bijlage X: Futureproof onderzoek**
- Bijlage XI: Beoordelingsnota
- Bijlage XII: Ruimtelijke conceptschets Gekozen alternatief en varianten
- Bijlage XIII: Ontwerp van gedeeltelijke opheffing van beschermingsbesluiten
- Bijlage XIV: Nota flankerend beleid
- Bijlage XV: Scopingnota 4

Futureproof onderzoek Loop 1



**Vlaamse
overheid**



**DEPARTEMENT
OMGEVING**



Medegefinancierd door de Europese Unie
Trans-Europees vervoersnetwerk (TEN-T)



Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	3
2.	Begrippen en methodiek.....	4
2.1.	Definitie ‘futureproofing’.....	5
2.2.	Futureproofing methodiek.....	5
2.3.	De R0-Noord als testcase binnen de beleidsstudie ‘Mobiliteit in de toekomst’.....	6
2.4.	Een plan voor de ruimtelijke herinrichting van de R0-Noord en de onderzochte alternatieven.....	8
2.4.1.	Plangebied.....	8
2.4.2.	Plandoelstellingen.....	8
2.4.3.	Alternatieven.....	9
3.	Toekomstverkenningen.....	12
3.1.	Globaal niveau: Megatrends.....	13
3.2.	Europees niveau: Game Changers.....	15
3.3.	Vlaams niveau.....	17
3.3.1.	Trends en toekomstonzekerheden.....	17
3.3.2.	Toekomstwerelden.....	19
4.	Criteria.....	24
5.	Stresstest van de R0: hoe zal de ring inspelen op toekomstige trends en evoluties?.....	27
5.1.	Weerhouden relevante trends en ontwikkelingen.....	28
5.1.1.	De klimaatverandering zet zich sterk door.....	30
5.1.2.	Autonome systemen breken volledig door.....	31
5.1.3.	MaaS en Fysiek Internet worden standaard marktmodellen.....	36
5.2.	Weerhouden criteria.....	39
5.3.	Beoordeling van de alternatieven.....	40
5.3.1.	Alternatievengroep Light.....	40
5.3.2.	Alternatievengroep Parallel.....	41
5.3.3.	Alternatievengroep Lateraal.....	42
5.4.	Key-elements stresstest.....	42
6.	Toekomstprojectie van de R0: hoe zal de ring functioneren in een virtuele toekomstwereld?.....	44
6.1.	Beoordeling van de alternatieven.....	45
6.1.1.	Alternatievengroep Light.....	45
6.1.2.	Alternatievengroep Parallel.....	46
6.1.3.	Alternatievengroep Lateraal.....	47
6.2.	Key-elements toekomstprojectie.....	48
7.	Samenvatting en conclusies.....	49
Bijlage 1 -	Deelnemers expertdialogen.....	51
Bijlage 2 -	Referenties.....	52

1. INLEIDING

De ruimtelijke herinrichting van de Ring rond Brussel (R0) - deel Noord, is een onderdeel van het multimodale programma 'Werken aan de Ring', een geïntegreerd en samenhangend programma van wegenis-, fiets- en openbaar vervoersprojecten dat tevens inzet op combimobiliteit en de leefkwaliteit in de projectgebieden wil verbeteren. Opdat de verschillende onderdelen van het programma 'Werken aan de Ring' effectief uitgevoerd kunnen worden, dienen verschillende procedures te worden doorlopen. Eén van deze procedures is de opmaak van een gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan (GRUP) om een aangepast planologisch kader te scheppen met het oog op de gewenste ruimtelijke ontwikkeling. Dit GRUP wordt opgemaakt volgens de procedure van het geïntegreerd planningsproces (GPP). Het geïntegreerd planningsproces betreft een procedure waarbij effectenbeoordelingen op planniveau procedureel en inhoudelijk in het ontwerpproces worden geïntegreerd gedurende het hele planningsproces. De beslissingen die gedurende het planningsproces worden genomen, dienen immers te gebeuren op basis van criteria van de 'goede ruimtelijke ordening', maar evengoed op basis van de mogelijke effecten op het milieu, mens, natuur, mobiliteit, socio-economische aspecten, ruimteclaims vanuit de verschillende maatschappelijke sectoren enz. Daarom worden verschillende effectenbeoordelingen mee geïntegreerd in de opmaak van het plan. De future-proofverkenning is één van de effectbeoordelingen die in het volledige planningsproces geïntegreerd wordt. Dit rapport is een tussentijdse rapportage in het kader van Loop 1 van de alternatievenafweging binnen het GPP.

Een future-proofverkenning steunt op een confrontatie tussen de gekende eigenschappen van een plan of een project versus de onzekere evoluties van de omgeving of de context. Meer en meer groeit immers het besef dat belangrijke infrastructuur voor een lange periode de maatschappij moet dienen waardoor ook een meer duurzame samenleving ontstaat. Vandaar dat ontwerpers, bouwers, beheerders en exploitanten mogelijke toekomstige uitdagingen voor hun infrastructuurprojecten mee in overweging moeten nemen bij de planning en het ontwerp van infrastructuren.

Ook al groeit er consensus over de noodzaak om belangrijke infrastructuur meer future-proof te maken, er bestaat nog geen gestructureerde, algemeen aanvaarde benadering over het onderzoek dat hiervoor gevoerd moet worden. Er zijn wel algemene theoretische kaders beschikbaar waaruit enkele basisvereisten voor een dergelijk onderzoek kunnen afgeleid worden.

Hoofdstuk 2 van deze nota beschrijft aan welke basisvereisten de future-proofverkenning zal voldoen en hoe en waarop ze wordt uitgevoerd. Hoofdstuk 3 identificeert de verwachte toekomstige ontwikkelingen. Hiervoor wordt gewerkt met trends en ontwikkelingen, elk met hun eigen mate van (on)zekerheid en al dan niet geïntegreerd in één of meerdere toekomstscenario's. In dit onderzoek is er voor gekozen om op basis van literatuur inzicht te krijgen in trends en ontwikkelingen die voor verkeersinfrastructuurprojecten zoals de R0-Noord het meest relevant zijn. Vervolgens is het cruciaal om een set van criteria te definiëren, die gebruikt zullen worden om het future-proofgehalte van het plan of project af te wegen. Hiervoor kan gesteund worden op een standaard lijst van criteria, waarbij het echter belangrijk is om de keuze van criteria af te stemmen op de eigenheid en specifieke doelstellingen van het project. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 4. De hoofdstukken 5 en 6 zijn een weergave van de eigenlijke future-proofverkenning, steunend op de resultaten van twee expertendialogen die over dit thema werden gehouden. Finaal resulteert de future-proofverkenning in meer inzicht over hoe een belangrijke infrastructuur als de R0-Noord (al dan niet) zou functioneren binnen gewijzigde toekomstige omgevingen.



"No one will pay good money to get from Berlin to Potsdam in one hour when he can ride his horse there in one day for free."

Koning Frederik Willem I van Pruisen

2. BEGRIPPEN EN METHODIEK

Ondanks de toenemende aandacht voor future-proofaspecten bij infrastructuurprojecten, ontbreekt tot op heden een algemeen gebruikte definitie van het begrip. Bovendien is voor 'future-proof' niet meteen een gangbare Nederlandse term voorhanden. De meest accurate Nederlandstalige termen zijn 'toekomstvastheid' of 'toekomstbestendigheid'.

Er is evenmin een standaardmethodiek voor future-proofbeoordelingen. In zeer algemene bewoordingen confronteert een future-proofbeoordeling de actueel of traditioneel gekende eigenschappen van een plan of een project met de toekomstige evoluties zowel van de omgeving, de context als van het project zelf. Hierbij wordt rekening gehouden met de mate van onzekerheid die eigen is aan elke toekomstvoorspelling.

Dit rapport verbindt de future-proofgedachte met het geïntegreerd planningsproces (GPP) voor de opmaak van een gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan (GRUP) voor de R0-Noord. Het procesmatige aspect is daarbij essentieel. Daarom verduidelijkt dit hoofdstuk welke definitie en methodiek gehanteerd wordt voor deze future-proofverkenning.



"Uncertainty today is not just an occasional, temporary deviation from a reasonable predictability; it is a basic structural feature of the business environment."

Pierre Wack, econoom en grondlegger van scenarioplanning bij Shell.

2.1. Definitie 'futureproofing'

Future-proof is een eigenschap of een kenmerk van een plan, een programma, een project of een ontwerp. Futureproofing duidt op een specifieke procesmatige aanpak waarbij, binnen een ontwerpproces van een plan, programma of ontwerp, een aanpak wordt nagestreefd die in de verschillende fases van het proces future-proofanalyses en -evaluaties maakt.

Volgende definitie die gehanteerd wordt, is gebaseerd op een Engelstalige paper: "Futureproofing is een proces om te anticiperen op toekomstige gebeurtenissen, veranderingen, noden of gebruiken, met de bedoeling om hierop goed voorbereid te zijn, de impact ervan te beperken en de opportuniteiten te benutten".¹

Specifiek voor infrastructuurprojecten spreken we van het proces waarbij we voorzieningen treffen met het oog op toekomstige gebeurtenissen, veranderingen, noden of gebruiken die een specifieke impact op de infrastructuur kunnen hebben, via de huidige processen op het gebied van planning, ontwerp, bouw, gebruik en beheer.

Futureproofing speelt dus een specifieke rol in elke fase van een project:

- De **planning** van een project, waaronder ook de voorbereidende planfase begrepen kan worden om het correcte juridische en planologische kader vast te leggen om de realisatie van het project mogelijk te maken.
- Het **ontwerp en de bouw** van het project, waarbij future-proof als een uitgangshouding of ontwerphouding wordt vooropgesteld.
- Het **gebruik of de exploitatie** van het project waarbij het future-proofaspect eerder zal bepaald worden door externe factoren die een toekomstgericht gebruik mogelijk maken en de infrastructuur die dit moet faciliteren.
- In de fase van **onderhoud en renovatie** zal het future-proofaspect vooral tot uiting komen in de manier van onderhoud, beheer en up to date houden van de infrastructuur.
- In de eindfase tenslotte bepalen de mogelijkheden tot **hergebruik of recuperatie** van materialen het future-proofgehalte.

2.2. Future-proofing methodiek

Een future-proofbeoordeling vereist enerzijds één of meerdere werkhypotheses omtrent toekomstige ontwikkelingen, elk met een zekere graad van (on)zekerheid, en anderzijds een aantal parameters waaraan het future-proofgehalte van een plan of project kan worden afgetoetst.



Figuur 1: Basiselementen van een future-proofbeoordeling

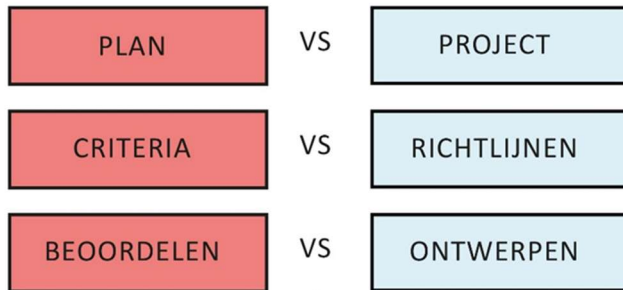
In eerste instantie kan daarbij een onderscheid gemaakt worden tussen 'plan' en 'project'.

Op het niveau van een plan bestaat de essentie van de future-proofbenadering in het definiëren van een aantal criteria waaraan het plan wordt afgetoetst om voldoende toekomstbestendig te zijn. Indien verschillende planalternatieven overwogen worden, kunnen deze criteria helpen om de alternatieven ten opzichte van elkaar af te wegen. Bij de beoordeling van de plandoelstellingen worden daarvoor drie criteria ingevoerd die beoordeeld

¹ Definitie gebaseerd op Atkins, UCL and DFID, 2012: "Futureproofing is the process of anticipating future events, changes, needs or uses in order to prepare appropriately, minimize impact and capitalize on opportunities"

zullen worden op basis van deze future-proofverkenning (zie Motivatie nota als bijlage bij de scopingnota). Zo draagt de future-proofoevaluatie bij aan het strategisch karakter van een planningsproces.

Wanneer men start aan een project is de strategische fase van keuze en visievorming op planniveau reeds achter de rug. In de future-prooffilosofie zal de oefening zich meer richten naar het opstellen van ontwerprijlijnen om het infrastructuurontwerp voldoende future-proof te maken.



Of we nu werken op niveau van een plan of op niveau van een project, beide niveaus hebben gemeenschappelijk dat er nood is aan **toekomstverkenningen** (hoofdstuk 3). Dit kan onder de vorm van het omschrijven en analyseren van mogelijke trends en evoluties en hun verwachte implicaties op onze omgeving en samenleving (eerste methode) of door het ontwikkelen van geïntegreerde toekomstscenario's waarin verschillende trends en scenario's gecombineerd worden in een integrale visie verwoord en verbeeld in toekomstwerelden (tweede methode). In dit onderzoek worden beide methodieken gehanteerd.

De toepassing van de eerste methode bestaat uit een evaluatie van de manier waarop de verkeersinfrastructuur van de Ring beter of slechter gaat functioneren indien bepaalde trends of evoluties zich sterk zouden doorzetten. Dit noemen we het '**stresstesten**' van de R0-Noord. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 5. In een stresstest worden de potentiële kwetsbaarheden van een systeem of binnen een gebied geïdentificeerd zodat duidelijk wordt waar een adaptatiestrategie op in moet spelen.² Willen we onze omgeving leefbaar en veilig houden in de toekomst, dan moeten we op de juiste manier omgaan met veranderingen zoals klimaatverandering, stedelijke verdichting en nieuwe vormen van mobiliteit. Dat vraagt om creativiteit en het maken van de juiste keuzes. Een stresstest brengt niet alleen de relevante trends en evoluties met hun verwachte effecten in beeld maar tracht ook inzicht te geven in de mogelijke gevolgen voor de infrastructuur en haar omgeving. Een stresstest is geen doel op zich, maar een middel om adaptatie (vroeg) op gang te brengen op diverse schaalniveaus en bij relevante actoren.

Bij toepassing van de tweede methode worden verschillende trends en ontwikkelingen gecombineerd in integrale virtuele toekomstwerelden. Vervolgens wordt nagegaan hoe de ringinfrastructuur in zo een virtuele toekomstwereld past en werkt. Dit is de **toekomstprojectie** van de R0-Noord en wordt beschreven in hoofdstuk 6.

In beide gevallen is er nood aan **criteria** om het future-proof gehalte van de infrastructuur te kunnen beoordelen. Hier bestaat geen standaard methodiek voor. Zoals uit hoofdstuk 4 zal blijken, kan een ruim gamma aan criteria gebruikt worden om afwegingen te doen en beoordelingen te maken. In de opgebouwde methodiek zullen we focussen op 2 veralgemeende criteria: **robuustheid** en **flexibiliteit**.

2.3. De R0-Noord als testcase binnen de beleidsstudie 'Mobiliteit in de toekomst'

De herinrichting van de R0-Noord is ongetwijfeld hét grootste geplande investeringsproject in de Vlaamse mobiliteit. Gezien de verwachte impact en effecten van deze werken op de mobiliteitsinfrastructuur in en rond Brussel op lange termijn, willen we nagaan hoe dit inpasbaar is in het toekomstig mobiliteitsfunctioneren in de regio. Dit gaat een stap verder dan het klassiek ruimtelijk en verkeerstechnisch onderzoek in het kader van de ontwikkeling van infrastructuurprojecten en omvat de medewerking van experts in een grote verscheidenheid van expertisedomeinen. Daarom baseert de future-proofverkenning zich deels op het lopend

² Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie

toekomstverkennd onderzoek naar “mobiliteit in de toekomst” (tijdsvenster 2050). Deze studie werd medio 2019 opgestart door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse overheid en wordt uitgevoerd door Tomorrowlab. Ze heeft als doel een gedragen langetermijnvisie omtrent de Vlaamse mobiliteit te ontwikkelen, wat zal resulteren in een roadmap die de uitvoering van de mobiliteitsvisie moet ondersteunen. De tijdshorizon voor de mobiliteitsvisie met roadmap is 2040.

De interactie tussen beide studies leidt tot een win-winsituatie: De futureproofing van de R0-Noord krijgt enerzijds een sterke en brede basis door te steunen op een onderbouwde set van trends, ontwikkelingen en toekomstscenario's. Anderzijds, door de geplande herinrichting van de R0-Noord als case study te gebruiken, als verkenning naar de mobiliteit in de toekomst, kan de praktische bruikbaarheid van deze studie getoetst worden.

Om antwoorden op de onderzoeksvragen te verkrijgen, hebben De Werkvennootschap, de THV MoVeR0, het Departement Mobiliteit en Openbare Werken en Tomorrowlab expertendialogen georganiseerd. Op deze workshops werden experts uit diverse sectoren en beleidsdomeinen samengebracht om op een interactieve manier te debatteren over future-proofaspecten van de R0-Noord. Er werden 3 expertendialogen gehouden³.



Expertendialoog 1 - 16 januari 2020. Hier werd gewerkt rond het thema ‘Trends en Technologie’. Er werd op zoek gegaan naar de verwachte trends en ontwikkelingen op het vlak van verkeer en mobiliteit op lange termijn, hun zekerheden en onzekerheden en de mogelijke implicaties van trends en technologische ontwikkelingen op mobiliteit in het algemeen en de R0-Noord en omgeving in het bijzonder.



Expertendialoog 2 – 13 februari 2020. Hier was het thema ‘Mogelijke werelden in 2050’. Wat als een bepaalde wereld een nieuwe realiteit is? Wat betekent dit voor de herinrichting van de R0-Noord? Welke alternatieven zullen goed of slecht functioneren in een bepaalde toekomstwereld. Of hoe kunnen ze relatief eenvoudig aangepast worden om zich te integreren in een nieuwe wereld?

Expertendialoog 3 – 11 juni 2020. Op deze (voorlopig) laatste sessie werden de voornaamste conclusies voorgesteld en besproken.

Deze conclusies zoals voorgesteld op 11 juni 2020 en de bespreking ervan vormen uiteindelijk de basis voor dit rapport.

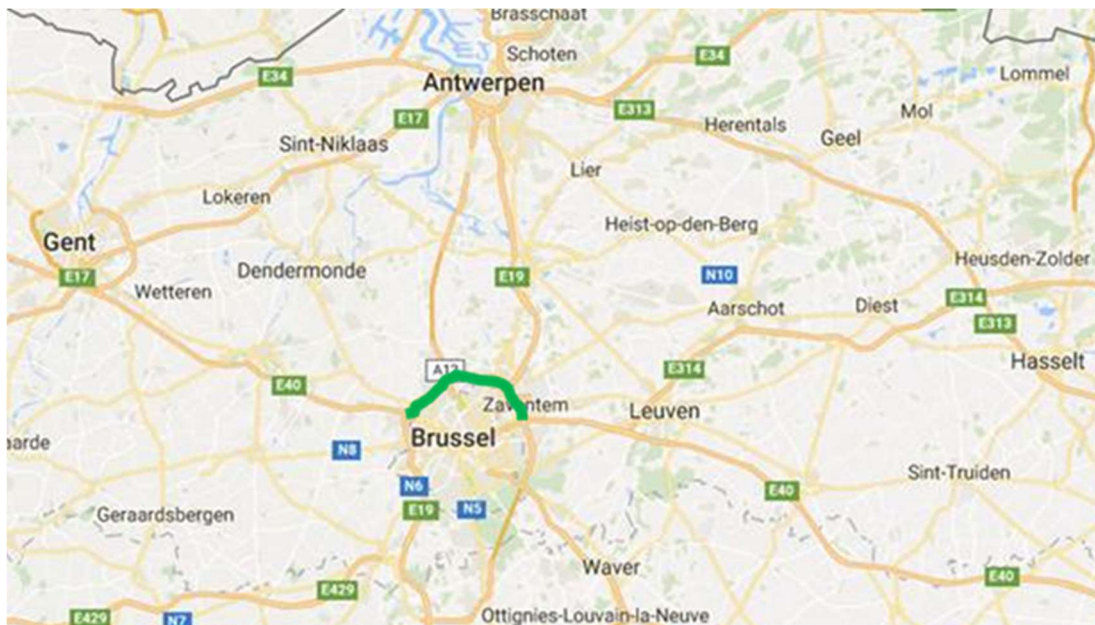
³ Deelnemerslijsten in bijlage

2.4. Een plan voor de ruimtelijke herinrichting van de R0-Noord en de onderzochte alternatieven

Voor de gewenste 'ruimtelijke herinrichting van de Ring rond Brussel (R0) - deel Noord' werd het geïntegreerd planningsproces opgestart om de gewenste bestemmingswijzigingen te verankeren in een Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan (GRUP). Het GRUP is een plan dat de ruimtelijke herinrichting van de R0 - deel Noord beoogt, zodat de infrastructuur verkeersveiliger wordt, de barrièrewerking van de Ring vermindert, de leefbaarheid in de omgeving verhoogt en de multimodale bereikbaarheid van de regio verbetert.

2.4.1. Plangebied

Het plangebied omvat het noordelijk deel van de R0 en situeert zich van de verkeerswisselaar R0/E40 Groot-Bijgaarden, Dilbeek tot en met de verkeerswisselaar R0/E40 Sint-Stevens-Woluwe, Zaventem. Naast de E40 richting Gent en de E40 richting Leuven sluiten op dit deel van de R0 ook de A12 en de E19 aan. Ook de A201 heeft een aansluiting op de R0, evenals verschillende lokale op- en afritten. Het noordelijk deel van de R0 loopt over het grondgebied van de volgende gemeenten: Dilbeek, Asse, Jette, Wemmel, Grimbergen, Vilvoorde, Brussel, Machelen, Zaventem en Kraainem.



Figuur 2: Situering van het plangebied

2.4.2. Plandoelstellingen

In het gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan 'Ruimtelijke herinrichting van de Ring rond Brussel (R0) - deel noord' worden volgende 4 plandoelstellingen vooropgesteld.

1. Het herinrichten van oude en verouderde infrastructuur volgens het principe van het scheiden van doorgaand en lokaal verkeer om op die manier te komen tot een beter leesbare, meer logische, en verkeersveiliger infrastructuur met minder incidenten en een verbeterde doorstroming.
2. Het verhogen van de leefbaarheid rond de R0-Noord door rekening te houden met aspecten van leefkwaliteit in de omgeving zoals geluid, lucht, gezondheid, klimaat, biodiversiteit, water, etc. In de nabijgelegen dorpskernen streven we o.a. naar de vermindering van het sluipverkeer dankzij de herinrichting van de R0-Noord.
3. Bij de herinrichting van de R0-Noord worden over, onder en langs de R0-Noord bepaalde potenties voor fietsverkeer en openbaar vervoer mee ontwikkeld. Oversteken en onderdoorgangen worden veiliger en multimodaal gemaakt, en bijkomende verbindingen en/of doorstromingsmaatregelen voor zachte weggebruikers en openbaar vervoer worden voorzien. De barrièrewerking van de Ring voor voetgangers,

fietsers, en openbaar vervoer wordt verminderd om op die manier de multimodale bereikbaarheid van de regio te verhogen.

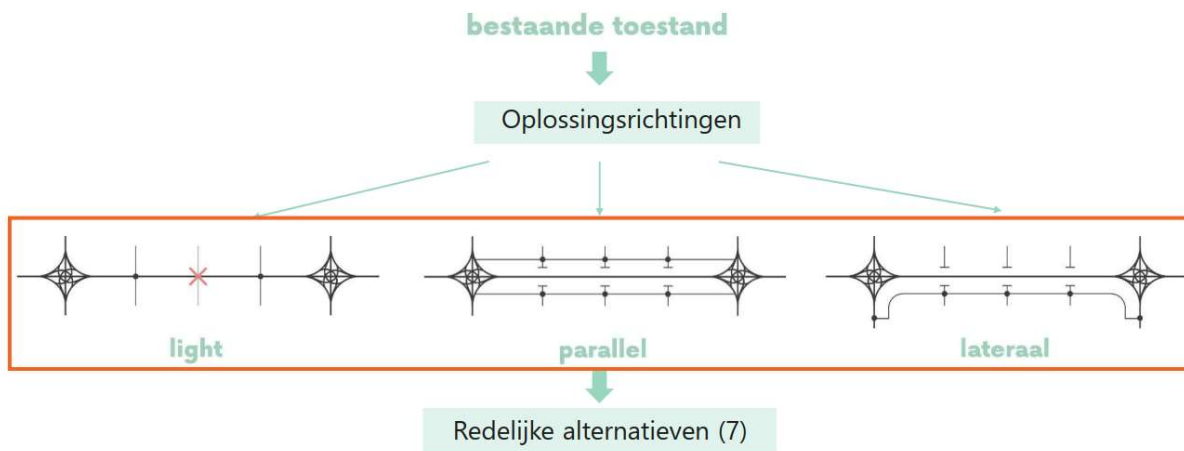
- Over het hele plangebied wordt ingezet op de landschappelijke inpassing van de infrastructuur in de omgeving (zowel R0-Noord als onderliggende wegenis) om de ruimtelijke en landschappelijke barrièrewerking van de Ring te verminderen en zo de leefbaarheid in de onmiddellijke omgeving te verbeteren en bij te dragen tot het herstel en de versterking van de groene, blauwe en ecologische verbindingen. Zo zal de barrièrewerking van de Ring niet alleen voor de mens, maar ook voor de natuur verminderen.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de plandoelstellingen wordt verwezen naar de paragraaf 3.1.3 van de scopingnota van het gewestelijk RUP.

2.4.3. Alternatieven

De mogelijke oplossingen voor de herinrichting van de R0-Noord zijn onderverdeeld in 3 groepen: G1, G2 en G3. Elke groep omvat mogelijke alternatieven om de Ring rond Brussel te optimaliseren zodat de (meeste of meest acute) bestaande knelpunten worden opgelost.

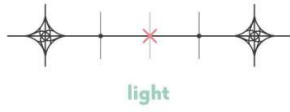
- De lightgroep (G1) gaat uit van de optimalisatie van de bestaande ringinfrastructuur.
- Voor de parallelgroep (G2) wordt een lokale structuur symmetrisch/parallel, langs binnen- en buitenring voorzien. Deze parallelwegen worden aanzien als onderdeel van de hoofdweg.
- De lateraalgroep (G3) bevat alternatieven waarbij een lokale wegstructuur asymmetrisch/lateraal langs de doorgaande structuur gelegd wordt. Laterale wegen hebben het karakter van een lokale of stedelijke weg en kunnen toegankelijk zijn voor voetgangers, fietsers en bussen.



In totaal werden 7 redelijke onderscheidende alternatieven weerhouden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de 7 alternatieven wordt verwezen naar de scopingnota § 3.3.3.2 en naar bijlage 4 van de scopingnota 2 van het gewestelijk RUP R0-Noord. Per groep is er één basialternatief gedefinieerd, resp. G1A2, G2A1 en G3A1. Daarnaast werden ook nog varianten gedefinieerd. Een variant is een keuzemogelijkheid binnen een bepaald alternatief en heeft betrekking op een specifiek aspect, of op één specifieke locatie of element van dat alternatief.

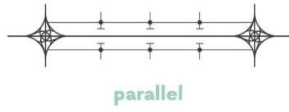
Omdat de future-proofverkenning een relatief hoog abstractieniveau heeft, wordt niet in detail ingegaan op het onderscheid tussen de 7 weerhouden planalternatieven. Ook de varianten worden buiten beschouwing gelaten. Daarom wordt bij het onderscheid tussen de alternatieven gefocust op de essentiële verschillen tussen de 3 alternatievengroepen G1, G2 en G3 op het gebied van netwerklogica, verkeerswisselaars, aansluitingscomplexen en ruimtegebruik. In het kader van de future-proofverkenning, worden deze verschillen op volgende manier geduid.

NETWERKLOGICA



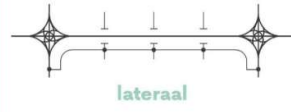
light

- scheiding van het doorgaand en het lokale verkeer door verminderen op- en afritten
- lokale verkeer meer naar de bestaande lokale wegen te sturen



parallel

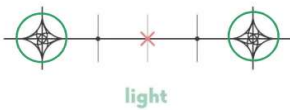
- doorgaand verkeer op centrale rijweg gebundeld
- lokale verkeer op de parallelwegen
 - symmetrisch systeem
 - binnen- en buitenzijde
 - deel uit van het autosnelwegensysteem



lateraal

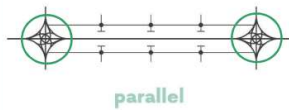
- doorgaand verkeer op centrale rijweg gebundeld
- lokale verkeer op de laterale wegen
 - asymmetrisch systeem
 - ofwel binnenzijde, ofwel buitenzijde
 - geen deel uit van het autosnelwegensysteem
 - karakter lokale wegen met gelijkvloerse kruispunten
 - Meer verknoping, multimodale aspect

VERKEERSWISSELAARS – de uitwisseling tussen knoop en de R0



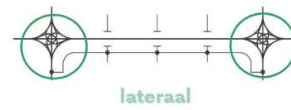
light

- alle verbindingen tussen de R0 en de autosnelwegen behouden



parallel

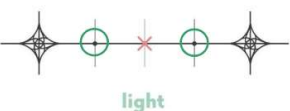
- alle verbindingen tussen de R0 en de autosnelwegen behouden
- verkeerswisselaars zijn eveneens aangesloten op de parallelwegen



lateraal

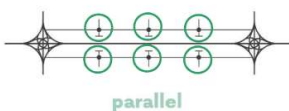
- alle verbindingen tussen de R0 en de autosnelwegen behouden
- verkeerswisselaars zijn eveneens aangesloten op de laterale wegen

AANSLUITINGSCOMPLEXEN – op- en afrittencomplex tussen R0 en lokale wegenis



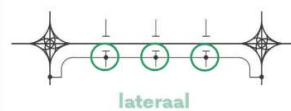
light

- dwarsende wegen aangesloten op de R0 via aansluitingscomplex
- niet alle aansluitingscomplexen worden behouden



parallel

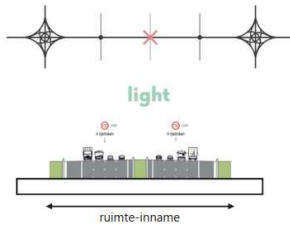
- dwarsende wegen aangesloten op de parallelwegen, niet op de doorgaande R0
- enkel ter hoogte van de verkeerswisselaars is een uitwisseling tussen de doorgaande R0 en de parallelwegen mogelijk



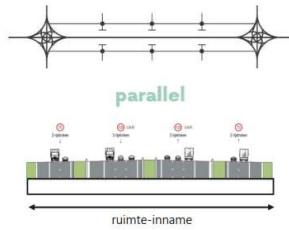
lateraal

- dwarsende wegen aangesloten op de laterale wegen, niet op de doorgaande R0
- enkel ter hoogte van de verkeerswisselaars is een uitwisseling tussen de doorgaande R0 en de laterale wegen mogelijk

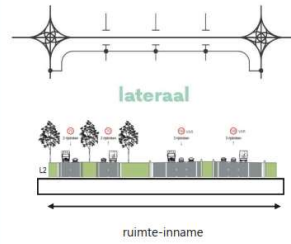
RUIMTEGEBRUIK



- streven naar beperking van de verharding inname ruimte inname



- netwerklogica van het parallelsysteem is doorslaggevend voor de ruimte-inname en de verharding inname



- streven naar beperking van de verharding inname
- netwerklogica van het lateraal systeem is doorslaggevend voor de ruimte inname
- laterale wegen worden ruimtelijk geïntegreerd in de lokale structuur rondom de R0

3. TOEKOMSTVERKENNINGEN

Ongetwijfeld zullen onze transportinfrastructuren er in de toekomst anders uitzien en anders gebruikt worden. Technologische evoluties zullen daarin een grote rol spelen maar ook een gewijzigd verplaatsingsgedrag zal een belangrijke impact hebben op de mobiliteitsoplossingen die in de toekomst zullen worden aangeboden. De vraag is welke veranderingen zullen plaatsvinden en wanneer. Uiteraard is op deze vraag geen sluitend antwoord voorhanden. Future-proof denken gaat ervan uit dat de ontwikkelingen op korte termijn gekend zijn en vastgelegd zijn in beleidskaders. Daarom wordt ingezet op langetermijnevoluties en -ontwikkelingen, met inbegrip van de onzekerheden hierover. Nadenken over toekomstige trends en ontwikkelingen en over nieuwe concepten en oplossingen helpt net om de uitdagingen op lange termijn beter te begrijpen. De finale doelstelling is om verder te kijken dan de huidige dagdagelijkse uitdagingen op het gebied van mobiliteit en ruimtelijke ontwikkelingen. Door de blik te verruimen en de sturende krachten van verandering te verbeelden, kunnen we vorm geven aan de transportsystemen van de toekomst.



"I think there is a world market for maybe five computers."

Thomas J. Watson, Amerikaans zakenman en voorzitter van IBM in de jaren 1940

3.1. Globaal niveau: Megatrends

Megatrends zijn krachten die de wereld in de toekomst een andere vorm zullen geven. De kenmerken van megatrends zijn dat ze werken over een lange termijn, een relatief hoge zekerheidsgraad hebben en een verregaande impact hebben. Die kan zowel positief als negatief zijn. Een aantal megatrends bieden perspectieven voor duurzame ontwikkelingen, doch andere kunnen aanleiding geven tot negatieve effecten, onder andere omdat ze leiden tot toenemende ongelijkheid.

In het rapport 'Future of highways' benoemt ARUP zeven megatrends die in de toekomst een grote impact zullen hebben op het wegtransportsysteem in het algemeen en op snelwegen in het bijzonder: verstedelijking, nieuwe technologieën en connectiviteit, een groeiende en vergrijzende bevolking, gedeelde economie en klimaatverandering.⁴ Door nu al na te denken over deze trends, kunnen we de uitdagingen die ons op lange termijn te wachten staan, beter begrijpen. Dit zal hopelijk leiden tot inspirerende ideeën en nieuwe concepten binnen het beleidsveld van de mobiliteit. De doelstelling op lange termijn is te komen tot een geïntegreerd mobiliteitssysteem met vlotte connecties tussen verschillende modi waaronder auto, bus, spoor en niet-gemotoriseerd vervoer. Dit sluit aan bij de doelstellingen uit het Vlaamse mobiliteitsdecreet: er wordt gestreefd naar een systeem dat duurzaam, veilig en multimodaal is, uitgebouwd en geëxploiteerd met aandacht voor toegankelijkheid en leefbaarheid⁵.

1. **Verstedelijking** // Door de snelle verstedelijking zal in 2050 tussen de 70% en 75% van de bevolking in steden wonen, tegenover iets meer dan 50% in 2014. Hoewel deze trend zich vooral in China en India zal doorzetten, neemt ook de verstedelijking in Europa toe. De verstedelijking verhoogt de druk op de stedelijke systemen en infrastructuur, die vandaag reeds zwaar belast zijn. Als de steden verder groeien en de welvaart van haar bewoners toeneemt, zal de mobiliteitsvraag toenemen, alsook de vraag naar individuele mobiliteit. In Europa en de Verenigde Staten zal het aantal gemotoriseerde voertuigen jaarlijks met 1 à 2% toenemen, tot in 2030. Tegelijk leidt de groei van de steden ook tot een stadsvlucht met een groeiende kloof tussen rijk en arm. Ook deze verdere 'urban sprawl' heeft belangrijke gevolgen op het gebied van verkeer en mobiliteit.
2. **Nieuwe technologieën en connectiviteit** // De snelle technologische evolutie is een van de belangrijkste motoren voor de veranderingen in de transportsector. De geschiedenis van de technologische evolutie toont dat deze niet lineair maar exponentieel is en er wordt verwacht dat de snelheid van verandering nog zal toenemen. De technologische evolutie zal zowel op het gebied van voertuigen als op het vlak van infrastructuur te merken zijn. Door gebruik te maken van nieuwe materialen zal infrastructuur lichter, sterker, intelligenter en duurzamer worden. Flexibele en geleidende materialen zullen nieuwe toepassingen introduceren en totaal andere types van verkeersinfrastructuren doen ontstaan. Zelfherstellende materialen kunnen de kosten voor onderhoud en herstelling reduceren en de gebruiksduur van de infrastructuur aanzienlijk verlengen. Tegelijk zal de energie-efficiëntie van voertuigen kunnen verdubbelen door een betere aerodynamica en het gebruik van lichtere materialen. Nieuwe ontwikkelingen zullen ook de prestaties van bijvoorbeeld elektrische batterijen merkbaar verbeteren en mogelijkheden creëren voor het tijdelijk opslaan van opgewekte energie. Intelligente voertuigen zullen met elkaar en met de omgeving communiceren. Ze zullen tevens in staat zijn om de drukte te meten en de weg- en weersomstandigheden te analyseren en bijvoorbeeld de snelheid automatisch hieraan aan te passen. Uiteindelijk evolueert dit naar een systeem met volledig autonome en zelfrijdende voertuigen. Dit heeft ook een impact op de weginfrastructuur. De rijbanen kunnen smaller worden en er zijn minder borden en signalisatie nodig. Maar autonome voertuigen zorgen er ook voor dat de capaciteit van bestaande infrastructuur toeneemt omdat ze op een veilige manier dicht op elkaar kunnen rijden. De zelfrijdende voertuigen maken rijden ook mogelijk voor groepen die dat vandaag niet kunnen of mogen zoals ouderen of mensen met een mentale of fysieke handicap. De evolutie naar zelfrijdende voertuigen kan dus een toename van het verkeer tot gevolg hebben. Nog een interessante technologische evolutie is het inzetten van autonome robots om infrastructuren en kunstwerken te inspecteren en kleine herstellingen uit te voeren. Een andere vorm van automatisatie is zwarmrobotica, waarbij verschillende individuele robots onderling taken verdelen om samen omvangrijke taken uit te voeren. Dit kan de manier waarop grote infrastructuren in de toekomst gebouwd en onderhouden worden, ingrijpend veranderen.

⁴ Arup Foresight + Research + Innovation, Future of Highways, 2014

⁵ Decreet betreffende de basisbereikbaarheid, Artikel 3: "Het mobiliteitsbeleid is gericht op het garanderen van de bereikbaarheid van onze samenleving. Daarbij wordt geïnvesteerd in een mobiliteitssysteem waarmee de economie en de maatschappij ondersteund worden. Het mobiliteitssysteem is duurzaam, veilig, intelligent en multimodaal. Het wordt uitgebouwd en geëxploiteerd met aandacht voor toegankelijkheid en leefbaarheid."

3. **Groeiende en vergrijzende bevolking** // Er wordt verwacht dat de wereldbevolking zal stijgen tot 9,5 miljard in 2050. Daarna blijft ze toenemen, maar gaat de aangroei trager. De evolutie is echter ongelijk verdeeld over de wereld. Zo wordt in bijvoorbeeld Rusland, Japan en Duitsland een daling van het aantal inwoners verwacht. De grote steden en de ontwikkelingslanden kennen de sterkste bevolkingsgroei. Een minstens even relevante evolutie is de vergrijzing. In 2050 zal meer dan 20% van de bevolking 60 jaar of ouder zijn. Dit heeft een grote impact op onze mobiliteitsoplossingen omdat oudere mensen andere verwachtingen en voorkeuren qua transport hebben. Omdat een kleiner aantal werkenden een groter aandeel niet-actieven zal moeten financieren, zou de kostprijs van bepaalde transportsystemen kunnen stijgen waardoor individueel vervoer voor bepaalde bevolkingsgroepen moeilijker of zelfs niet meer te veroorloven dreigt te worden.
4. **Gedragsveranderingen en gedeelde economie** // In sommige delen van de wereld stijgt de bezorgdheid van de mensen omtrent het milieu, gezondheid en welzijn. Samen met meer regulering op wereldschaal worden individuen en organisaties verplicht om op een meer duurzame manier te leven en te werken. Dit veroorzaakt een modal shift naar meer actieve vormen van zich verplaatsen zoals wandelen en fietsen. Vooral in de steden wordt dit ondersteund door hoge dichtheden te realiseren en geïntegreerde transportsystemen uit te rollen. Tegelijk wordt de negatieve impact van uitstoot en vervuiling van andere vervoerswijzen aangepakt. Toekomstige transportsystemen zullen multimodaal zijn waarbij probleemloos van de ene modus naar de andere kan worden overgegaan. De economie evolueert van een model gebaseerd op eigendom naar een model gebaseerd op dienstenaanbod. Dit betekent bijvoorbeeld dat het hebben van toegang tot een eigen vervoersmiddel belangrijker wordt dan het bezit ervan. Vooral stedelingen wensen toegang tot een ruim gamma aan transportvormen en routes. Infrastructuren gaan dus waarschijnlijk een veelheid aan vervoermiddelen, -diensten en verkeersstromen moeten faciliteren
5. **Klimaatverandering** // Hoewel de problematiek complex en heel breed is, ontstaat er algemene consensus over het feit dat extremere weerfenomenen zullen toenemen zowel in frequentie als in intensiteit. Temperatuurveranderingen, meer en intensere stormen en de stijging van het zeeniveau zullen een impact hebben op de wijze waarop we onze transportinfrastructuur zullen ontwerpen, gebruiken en onderhouden. Er ontstaat een risico op onderbrekingen van het verkeer en schade aan of vernietiging van transportinfrastructuur. Zo zullen bijvoorbeeld hevige regenval en overstromingen effecten hebben op de wijze waarop we infrastructuur gaan bouwen en onderhouden maar ook bestaande kunstwerken zoals bruggen en tunnels verzwakken. Hogere temperaturen kunnen dan weer het wegoppervlak beschadigen. Het wegverkeer is ook één van de oorzaken van het broeikaseffect en de opwarming van de aarde. Strengere regels die de uitstoot van broeikasgassen moeten verminderen, beïnvloeden de planning en het ontwerp van transportsystemen, waarbij de voorkeur sterker uitgaat naar duurzame materialen en transportwijzen. Voertuigen zullen moeten voldoen aan de nieuwe regels en normen en de infrastructuur moet aangepast worden aan deze voertuigen.
6. **Slimme en geïntegreerde mobiliteit** // Wereldwijd wordt verwacht dat het vervoer zal toenemen, zowel wat betreft goederen als personen. De trends wijzen op een evolutie naar een intelligenter en meer geïntegreerd systeem om passagiers en goederen te transporteren. Vooral evoluties in communicatietechnologie zullen een belangrijke impact hebben. Big Data en het fysieke internet laten toe dat diverse transportsystemen met elkaar en met de omgeving communiceren. Dit opent de deur naar een echt efficiënt, geïntegreerd en intermodaal transportsysteem. Intelligente communicatietechnologie wordt een sleutelfactor in de steden van de toekomst. Het verkeer zal vlotter verlopen, dankzij een stijging van de capaciteit en de veiligheid. Dit draagt bij tot een grotere leefkwaliteit in de steden.
7. **Energie en grondstoffen** // De wereldwijde bevolkingstoename veroorzaakt een groeiende consumptie, wat op haar beurt leidt tot een stijgende vraag naar energie en grondstoffen. De huidige bronnen zullen wellicht niet volstaan om aan de vraag in de komende decennia te voldoen. Maar tegen 2050 wordt een sterke vooruitgang verwacht in het toepassen van de circulaire economie, die gebruikte materialen terug in het productieproces brengt waardoor de afvalberg gereduceerd kan worden. Er zal minder beroep gedaan worden op fossiele brandstoffen, vanwege een verwachte onstabiele olieprijs maar ook dankzij nieuwe brandstoftechnologie die gebruik maakt van natuurlijk vloeibaar gas, waterstof of algen. Deze nieuwe technologie zal ook vlug terug te vinden zijn in de aandrijfsystemen van voertuigen. De prestaties van voertuigen met alternatieve energiebronnen zullen vlug verbeteren, ook wat betreft elektrisch aangedreven voertuigen via plug-in systemen of op batterijen. Het is echter zeer onwaarschijnlijk dat in de toekomst één enkel nieuw systeem de bovenhand zal krijgen. Ook hybride vormen zullen een grote rol blijven spelen. Toch wordt verwacht dat elektrische aandrijving een rol zal blijven spelen in de aandrijving van voertuigen. Dit

vereist een goed ontwikkeld netwerk van oplaadsystemen voor elektrische voertuigen. Dit kan onder andere bestaan uit draadloze oplaadsystemen geïntegreerd in of langs de wegen, waardoor via inductie voertuigen opgeladen worden terwijl ze rijden. Alternatieve aandrijfbronnen kunnen de kostprijs van transport sterk drukken.

3.2. Europees niveau: Game Changers

In haar onderzoek naar de toekomst van wegtransport onderzocht de Europese Commissie de mogelijke gevolgen van de automatisatie en de connectiviteit van de mobiliteit, de reductie van de uitstoot ('decarbonisatie') en de evolutie naar een 'shared mobility'⁶. Volgens dit rapport staan we aan de vooravond van een ware revolutie op het gebied van wegtransport. Onze visie op mobiliteit zal grondig gewijzigd worden naar aanleiding van technologische evoluties zoals automatisatie, connectiviteit en 'low-carbon' technologie maar ook ten gevolge van nieuwe trends op het gebied van gedeelde mobiliteit. Ook nieuwe marktmodellen zullen niet alleen onze voertuigen grondig doen evolueren maar ook de manier waarop we gaan leven en ons verplaatsen. Maar nieuwe technologie alleen zal de situatie niet noodzakelijk verbeteren. Er is ook nood aan het verbeteren en aanpassen van onze transportinfrastructuur en aan het bijstellen van het mobiliteitsbeleid. Nieuwe mobiliteitsoplossingen en technologie kunnen zelfs leiden tot meer autoverplaatsingen omdat ze goedkoper en comfortabeler worden. Terzelfdertijd kunnen nieuwe flexibele oplossingen buiten het (financieel) bereik van veel mensen gaan vallen, tenzij ze goed geïntegreerd worden in een aangepast systeem van publiek transport. Toch bieden de verwachte technologische evoluties een unieke opportuniteit om het transportsysteem meer effectief en efficiënt te maken. Dit moet goed gepland, beheerd en opgevolgd worden door de beleidsmakers en overheden. Maar het gebrek aan een met redelijke zekerheid voorspelbaar ontwikkelingskader op lange termijn kan leiden tot verkeerde of suboptimale investeringen en een geografisch ongelijke verdeling van het mobiliteitsaanbod. Doch, wanneer goed omkaderd, kunnen toekomstige ontwikkelingen in wegtransport onze levenskwaliteit significant verbeteren.

Volgens de Europese Commissie creëren enkele technologische evoluties van de laatste decennia 4 doorslaggevende 'game-changers'. Deze zullen leiden tot een ingrijpende wijziging van ons mobiliteitsdenken, dat al verschillende decennia ongewijzigd is gebleven.

1. **Automatisatie** // Systemen hebben de mogelijkheid om een deel van of alle dynamische bestuurderstaken over te nemen van de bestuurder, behalve de strategische keuzes zoals de keuze van het moment van de verplaatsing of de selectie van de bestemming. Een geautomatiseerd systeem kan in realtime alle operationele en tactische functies uitvoeren die nodig zijn om een voertuig door het verkeer te sturen. Automatisatie kan ook helpen om te evolueren naar synchromodaliteit.
2. **Connectiviteit** // Technologie maakt het mogelijk dat voertuigen communiceren met elkaar en met de weginfrastructuur (bijvoorbeeld verkeersborden). Connectiviteit is sterk gerelateerd aan automatisatie, in het bijzonder voor wat betreft het functioneren van zelfrijdende voertuigen in het verkeer.
3. **Decarbonisatie** // Het gebruik van alternatieve brandstoffen zoals elektriciteit, waterstof, biobrandstoffen of natuurlijk gas. Dit is cruciaal om het gebruik en daarmee de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen of zelfs te doen verdwijnen en om de milieu-impact van wegverkeer te milderen.
4. **Gedeelde mobiliteit** // Een transportstrategie waarbij gebruikers een laagdrempelige toegang hebben tot transport op de momenten dat ze er behoefte aan hebben. Het systeem omvat verschillende modi, zowel autodelen, fietsdelen, ritdelen (carpooling) en 'on-demand' vervoersdiensten. Een courant gebruikte term hierbij is Mobility-as-a-Service – MaaS – waarbij verschillende vormen van personentransport worden geïntegreerd in één enkele mobiliteitsdienst die op aanvraag beschikbaar is. Op gebied van goederenvervoer speelt het toenemende belang van de "first mile" en de "last mile" om goederen efficiënt te laden en te leveren. De variant op het Maas-principe is hier Laas: Logistics as a Service.

In relatie tot het wegtransport zullen de evoluties ook bijdragen tot een gewijzigde integrale benadering van het vervoerssysteem als een multimodaal systeem. De voorspelde en bijna zekere gevolgen van de vier

⁶ Alonso Raposo, M. (Ed.), Ciuffo, B. (Ed.), Ardente, F., Aurbout, J-P., Baldini, G., Braun, R., Christidis, P., Christodoulou, A., Duboz, A., Felici, S., Ferragut, J., Georgakaki, A., Gkoumas, K., Grosso, M., Iglesias, M., Julea, A., Krause, J., Martens, B., Mathieux, F., Menzel, G., Mondello, S., Navajas Cawood, E., Pekár, F., Raileanu, I-C., Scholz, H., Tamba, M., Tsakalidis, A., van Balen, M., Vandecasteele, I., The future of road transport - Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility, EUR 29748 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-03409-4, doi:10.2760/9247, JRC116644

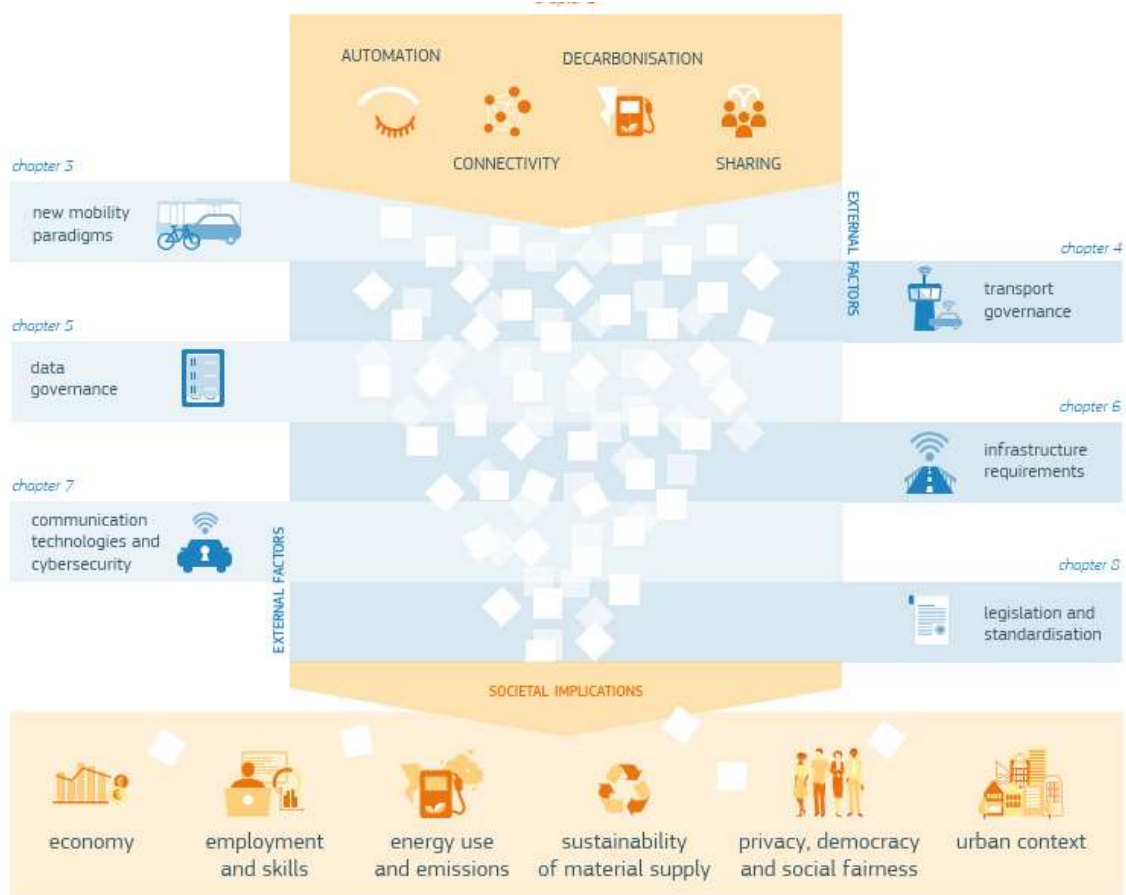
doorslaggevende nieuwe technologieën en diensten zullen bijdragen aan het bekomen van een efficiënt, veilig, duurzaam en inclusief multimodaal transportsysteem en zullen nieuwe systemen creëren waarmee gebruikers voordeel kunnen halen uit de opportuniteiten die ontstaan.

Op basis van de studie werd een model opgesteld waarbij de 4 game-changers aanleiding geven tot maatschappelijke evoluties op het gebied van:

- economie;
- werkgelegenheid en vaardigheden;
- energieverbruik en uitstoot;
- duurzaamheid en materiaalvoorraden;
- privacy, democratie en sociale verhoudingen
- ruimtelijke ontwikkeling.

Hoe en in welke mate deze maatschappelijke elementen beïnvloed zullen worden, hangt af van verschillende factoren op het gebied van:

- nieuwe mobiliteit;
- transportbeleid;
- databeheer;
- infrastructurele noden en behoeften;
- communicatietechnologie en cyberveiligheid;
- wetgeving en standaardisatie.



Figuur 3: Sturende factoren en maatschappelijke implicaties van geautomatiseerde, geconnecteerde, low-carbon en gedeelde mobiliteit (bron: Alonso Raposo et.al, *The future of road transport - Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility*)

3.3. Vlaams niveau

In de beleidsstudie 'Mobiliteit in de toekomst', medio 2019 opgestart door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse overheid, worden vanuit een beter inzicht in de toekomst op het gebied van demografische, economische, sociaal-culturele, technologische, ecologische en politieke ontwikkelingen, verschillende toekomstontwikkelingen verkend om tot een onderbouwde mobiliteitsvisie voor de toekomst te komen. Hiertoe werd in een eerste fase een toekomstverkenning uitgevoerd samen met experts en stakeholders. Dit resulteerde in een overzicht van de verschillende onzekerheden omtrent de mobiliteit van de toekomst. In een tweede fase werden vanuit deze onzekerheden toekomstscenario's ontwikkeld.

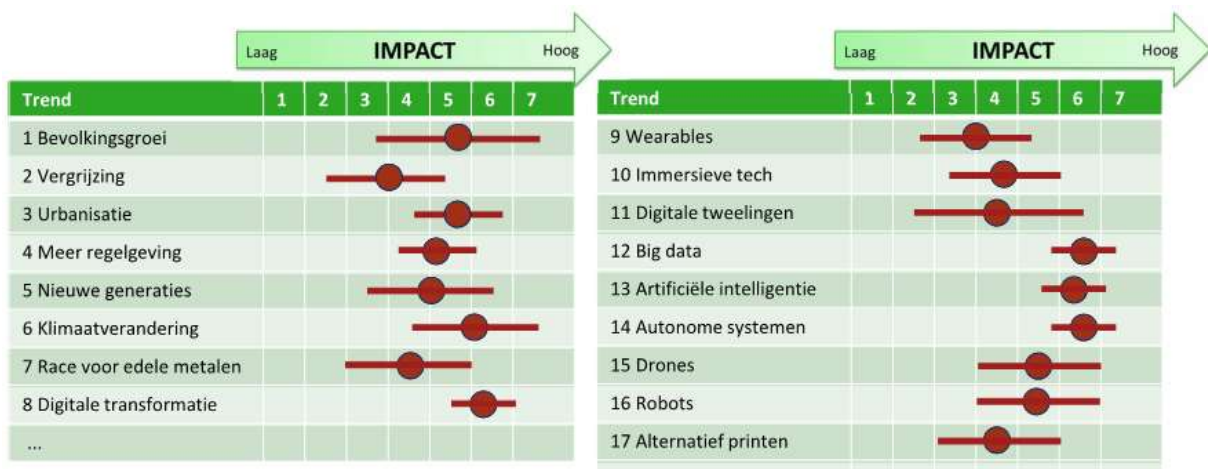


Figuur 4: Opzet beleidsstudie 'Mobiliteit in de toekomst' (bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

3.3.1. Trends en toekomstonzekerheden

In de MOW-studie zijn er 17 trends aangeduid die een impact hebben op het toekomstig mobiliteitssysteem. Een mobiliteitssysteem wordt hierbij gedefinieerd als het geheel van actoren (organisaties en personen) en hun rollen, activiteiten en middelen die in onderlinge afhankelijkheid de fysieke beweging van personen en goederen (binnen Vlaanderen) bepalen.

De mate van impact van elke trend werd door experts beoordeeld. De trends met een hoge verwachte impact zijn de bevolkingsgroei, de urbanisatie, de klimaatverandering, de digitale transformatie, big data, artificiële intelligentie, autonome systemen, drones en robots.



Figuur 5: Trends en verwachte impact op het toekomstig mobiliteitssysteem in Vlaanderen (bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

Het is logisch dat we veel van de trends die in vorige paragrafen beschreven werden als megatrends op globaal wereldniveau en als game-changers op Europees niveau, hier terugvinden. De vraag is echter welke specifieke impact ze kunnen hebben in de regionale Vlaamse context.

		Global	EU
Bevolkingsgroei		x	
Urbanisatie		x	x
Klimaatverandering		x	x
Slimme en geïntegreerde mobiliteit	Digitale transformatie	x	x
	Big Data	x	x
Automatisatie	Artificiële intelligentie	x	x
	Autonome systemen	x	x
	Drones	x	x
	Robotisering	x	x

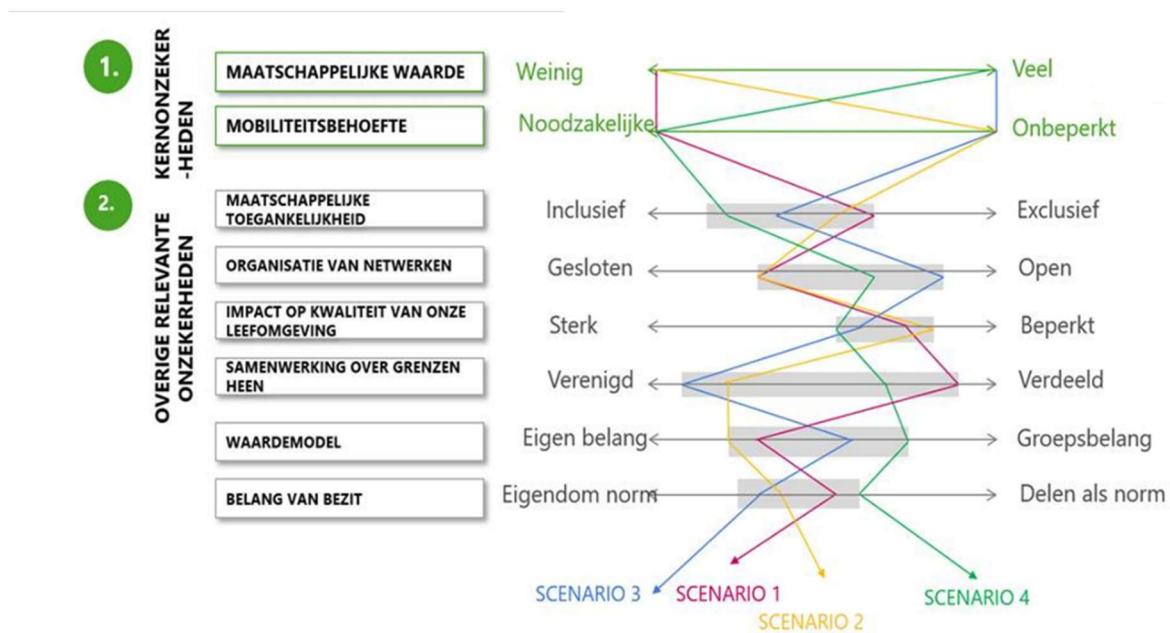
Rekening houdende met de toekomstverwachting van experts over diverse domeinen werden deze trends gebundeld in onzekerheden. Hierbij bepaalden de experts de mate van onzekerheid of de trend zich in de ene of andere richting zal gaan manifesteren tegen 2050.

1. **Maatschappelijke toegankelijkheid** // De toegang tot maatschappelijke activiteiten kan aan de ene kant evolueren tot zeer inclusief of anderzijds tot zeer exclusief (technologische kennis, hoge financieringsbehoefte, ...)
2. **Kwaliteit van onze leefomgeving** // Deze onzekerheid beschrijft in welke mate we de kwaliteit van onze leefomgeving bewaken. Dit kan in sterke mate (proactief) of eerder beperkt zijn (reactief)
3. **Samenwerking over grenzen heen** // Dit omvat de evolutie hoe supranationale samenwerking in de toekomst zal evolueren. Zal de wereld en/of Europa een eerder verenigd of meer verdeeld beleid voeren.
4. **Mobiliteitsbehoefte** // Door nieuwe technologieën en gedragsverandering is het onduidelijk in welke mate we ons nog dienen te verplaatsen. Dit kan enerzijds evolueren tot het strikt noodzakelijke en anderzijds tot een onbeperkte behoefte door een nieuw aanbod aan hoogperformante vervoersmiddelen.
5. **Marktwerking** // Het is nog onzeker of markten al dan niet gestuurd zullen worden richting maatschappelijke meerwaarde. Enerzijds kunnen markten vooral gericht zijn op winstmaximalisatie, anderzijds op het creëren van maatschappelijke meerwaarde.
6. **Organisatie van netwerken** // Deze onzekerheid omvat de mate waarin de verschillende vervoersnetwerken afgestemd zullen zijn. Dit kan met standaarden evolueren naar een zeer open systeem of naar afzonderlijke systemen, dus gesloten.
7. **Waardemodel** // Deze onzekerheid beschrijft hoe de menselijke drijfveren zullen evolueren. Dit kan sterk individualistisch zijn waarbij het eigenbelang primeert, of collectief waarbij het algemeen belang wordt vooropgesteld.
8. **Belang van bezit** // Het is onzeker wat het belang van eigendom in 2050 zal zijn. Zal dit nog steeds geprefereerd worden of zal delen de norm zijn?

3.3.2. Toekomstwerelden



De 8 onzekerheden vormden de fundamenteën voor de opbouw van de toekomstwerelden. Op basis van een expertenbeoordeling werden 2 kernonzekerheden vastgelegd: maatschappelijke waarde en mobiliteitsbehoefte. Voor beide wordt telkens van de twee extreme tegengestelde evoluties vertrokken. Een maatschappij die volledig gericht is op winstmaximalisering staat tegenover één die inzet op maatschappelijke meerwaarde. De mobiliteitsbehoefte neemt aan de ene kant van het spectrum af tot alleen de strikt noodzakelijke verplaatsingen, aan de andere kant staat een quasi onbeperkte mobiliteitsvraag. De 2 kernonzekerheden werden als 2 assen op een assenkruis uitgezet waardoor er 4 mogelijke toekomstscenario's werden ontwikkeld. De richting waarnaar de overige onzekerheden kunnen evolueren, werden mee opgenomen in deze 4 scenario's en zijn in onderstaande figuur als grijze balken aangegeven.



Figuur 6: Opbouw van de mogelijke toekomstwerelden (bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

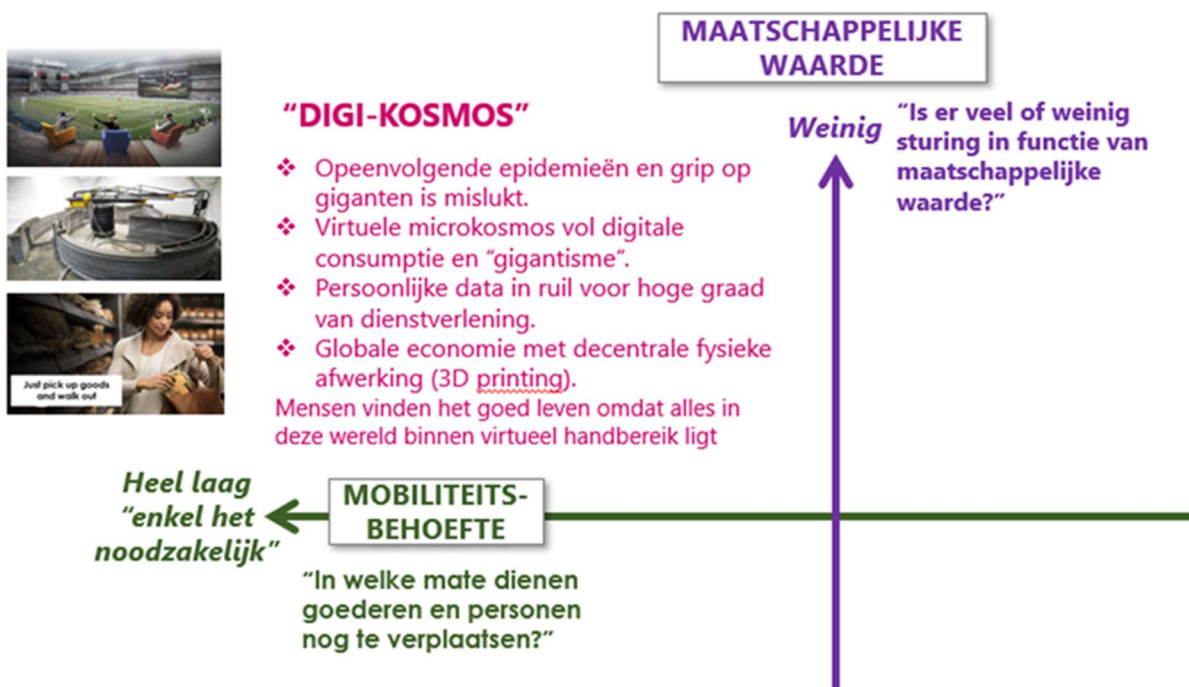
Via deze methodiek werden 4 mogelijke toekomstwerelden opgebouwd:

1. digi-kosmos
2. flexi-maxi
3. opti-connect
4. bewust-lokaal

Hieronder zijn korte voorbeeldbeschrijvingen van de werelden weergegeven die ook werden gebruikt voor de expertendialogen. Voor het meest recente materiaal omtrent de toekomstwerelden verwijzen we naar het Participatieplatform Mobiliteit 2040 (<https://mobiliteitsvisie2040.vlaanderen.be>).

KERNWOORDEN
 virtueel - gigantisme - microkosmos - digitale monopolisten
 FOBO: Fear Of Being Offline

Door een opeenvolging van epidemieën in de jaren '20 en het falen van de EU om grip te krijgen op grote globale tech-spelers is de wereld danig veranderd. We leven in 2050 in een wereld gekenmerkt door mensen in een virtuele microkosmos die in vele functies worden voorzien op basis van virtuele of digitale diensten en activiteiten. Concepten als "Facebook spaces" (een Virtuele Realiteit-Facebookwereld) hebben sterk ingang gevonden en worden door heel veel mensen constant gebruikt. De combinatie van heel lage mobiliteitsbehoefte en weinig sturing in functie van maatschappelijke waarde zorgt voor digitale monopolisten die gaan voor "gigantisme" wat leidt tot beperkt aantal grote spelers in verschillende sectoren waarbij persoonlijke data en schaalgrootte kernelementen zijn van hun bedrijfsmodel. De personenmobiliteit wordt gekenmerkt door veel minder fysieke verplaatsingen en indien men zich fysiek verplaatst doet men dit via geïndividualiseerde modi. Vrachtvervoer is gebaseerd op efficiëntie en massa, met decentrale afwerking. Mensen vinden het goed leven in deze wereld omdat alles binnen virtueel handbereik ligt.



(bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

REFERENTIE
 SILICON VALLEY



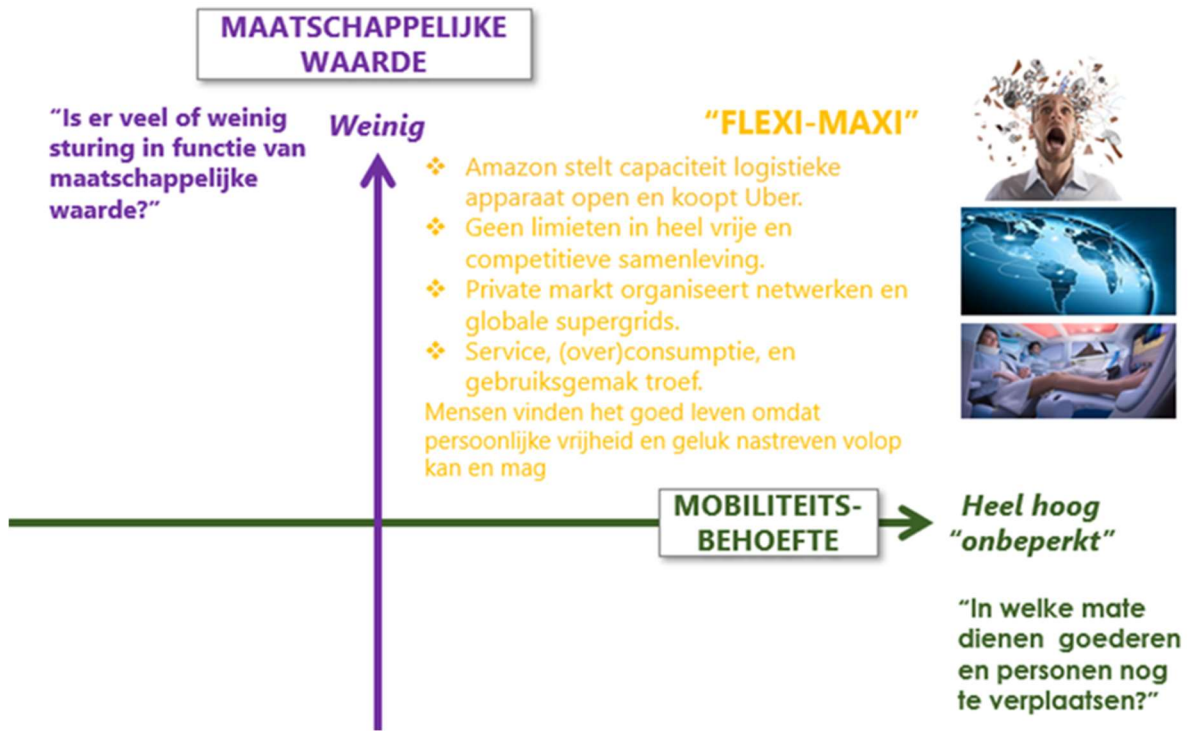
FLEXI-MAXI

KERNWOORDEN

“limitless” - het recht van de sterkste - klant is koning - ongebreidelde consumptie

YOLO: You Only Live Once

Doordat Amazon rond 2030 Uber opkocht en zijn ganse logistieke apparaat openstelde voor derden voor zowel vracht- als personenvervoer, is de wereld danig veranderd. We leven in 2050 in een wereld gekenmerkt door nastreven van vrijheid, flexibiliteit en competitie. De combinatie van een heel hoge mobiliteitsbehoefte en weinig sturing in functie van maatschappelijke waarde zorgt ervoor dat bedrijven de leiding genomen hebben in de uitbouw van vervoersaanbod en ook infrastructuur waarbij heel veel innovaties op de markt worden losgelaten door heel veel kleine en grote bedrijven. De personenmobiliteit wordt gekenmerkt door heel veel bewegingen met hoogwaardige dienstverlening in functie van consumptie en carrière. Vrachtvervoer gebeurt via veel internationaal transport in globale supergrids waarbij 3D printen niet doorgebroken is tot bij de consument. Mensen vinden het goed leven in deze wereld omdat persoonlijke vrijheid en geluk nastreven volop kan en mag.



(bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

REFERENTIEBEELD:
LOS-ANGELES



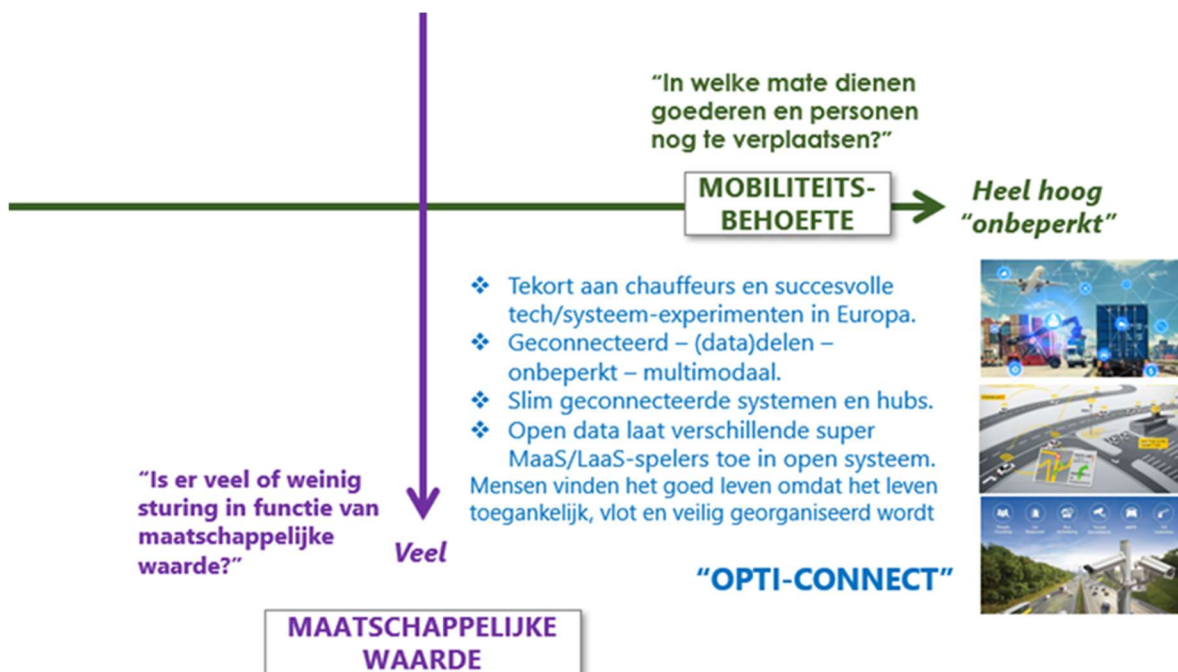
OPTI-CONNECT

KERNWOORDEN

“always on” - Geconnecteerd - (data)delen – onbeperkt – multimodaal

FOMO: Fear Of Missing Out

Door een groot chauffeurstekort over gans Europa in 2030 en de succesvolle ervaringen van heel wat technologie- en systeemexperimenten, is de wereld danig veranderd. We leven in 2050 in een wereld gekenmerkt door nastreven van efficiëntie, voorspelbaarheid, en duurzaamheid waarbij concepten zoals “Smart Cities” en het “Fysieke Internet” sterk ingang gevonden hebben. De combinatie van een heel hoge mobiliteitsbehoefte en veel sturing in functie van maatschappelijke waarde zorgt ervoor dat bedrijven gaan samenwerken met oog op interoperabiliteit en de creatie van grote MaaS- (Mobility-as-a-Service) en LaaS- (Logistics-as-a-Service) spelers wat hoogwaardige dienstverlening mogelijk maakt. De personenmobiliteit wordt gekenmerkt door veel en verre verplaatsingen op een conflictloze en comfortabele manier via hubs en slim geconnecteerde systemen met maximale interoperabiliteit. Vrachtvervoer gebeurt via het Fysieke Internet (met nadruk op horizontale bundeling van goederen, modulaire transporteenheden en realtime multimodaliteit). Mensen vinden het goed leven in deze wereld omdat het leven toegankelijk, vlot en veilig georganiseerd wordt.



(bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

REFERENTIE:

SINGAPORE



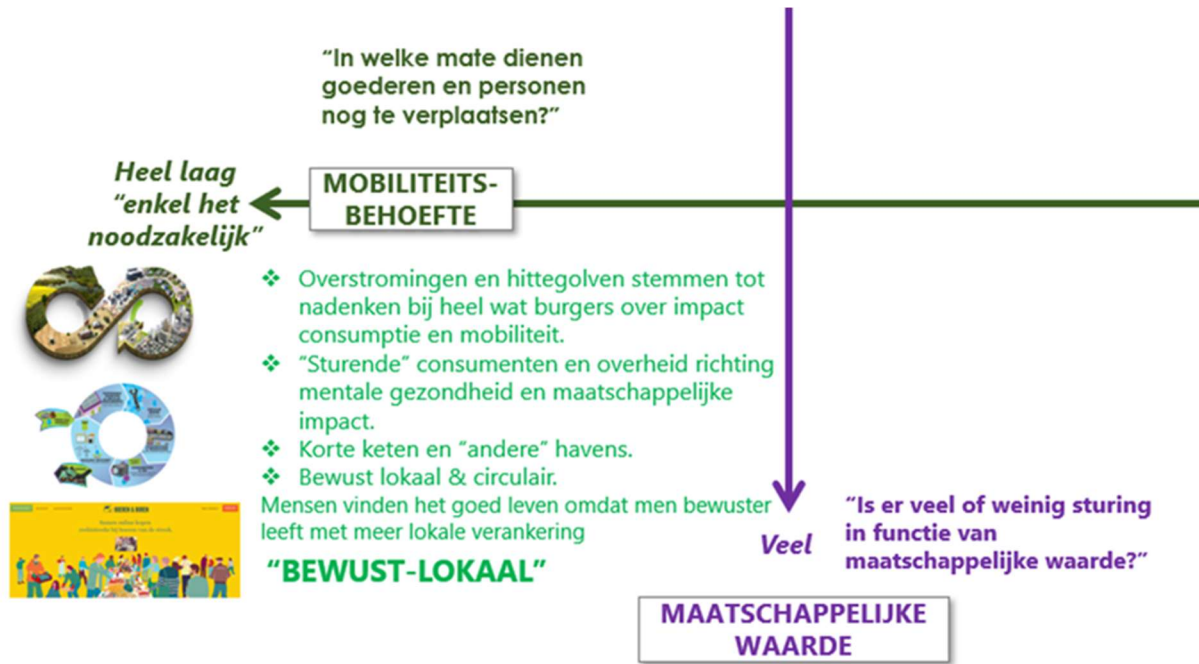
BEWUST-LOKAAL

KERNWOORDEN

“Reconnect” - Bewust lokaal & circulair

JOMO: Joy Of Missing Out

Heel wat opeenvolgende hittegolven en overstromingen in de jaren '20 stemden de burgers en overheden tot nadenken over de impact van consumptie en mobiliteitsgedrag; daardoor is de wereld danig veranderd. We leven in 2050 in een wereld gekenmerkt door nastreven van hoge mentale gezondheid en brutogeluk als economische maatstaf waarbij concepten zoals klimaatbudget en mobiliteitsbudget sterk ingang gevonden hebben. De combinatie van een heel lage mobiliteitsbehoefte en veel sturing in functie van maatschappelijke waarde zorgt ervoor dat bedrijven de maatschappelijke impact van hun aanbod als primair verkoopargument gebruiken. De personenmobiliteit wordt gekenmerkt door verplaatsingen met minimaal gewenste impact en lage behoefte tot verplaatsen door sterke verweving van functies en sterke verweving van mobiliteit en omgeving. Transport van goederen wordt gekenmerkt door korte ketens en een ander type havens die meer gericht zijn op circulaire economie en cradle-to-cradle gedachte. Mensen vinden het goed leven in deze wereld omdat men bewuster leeft met meer lokale verankering.



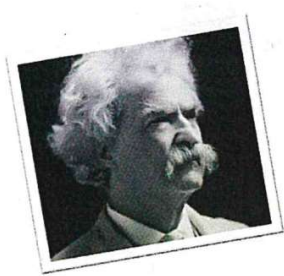
(bron: Tomorrowlab / Departement MOW)

REFERENTIE:
FREIBURG



4. CRITERIA

Het uitvoeren van een future-proofbeoordeling vereist, naast het identificeren van relevante trends en toekomstscenario's, het definiëren van een set criteria. Hierbij is het belangrijk om de keuze van criteria af te stemmen op de eigenheid en specifieke doelstellingen van het plan of project.



"Prediction is very difficult, especially for the future"

Mark Twain, schrijver en humorist

In de paper “Towards the Futureproofing of UK Infrastructure” wordt het wat, waarom en hoe van futureproofing voor infrastructuurwerken onderzocht, zodat de nationale (Britse) infrastructuur aangepast is voor de toekomst maar tegelijk ook de actuele noden kan opvangen. Het onderzoek vertrekt vanuit de vaststelling dat, alhoewel er een breed gedragen erkenning is van het feit dat een future-proofonderzoek nuttig en noodzakelijk is bij het ontwerpen van duurzame infrastructuur, er een gebrek is aan een gestandaardiseerde methodiek om dit onderzoek uit te voeren.

Het is cruciaal om zicht te hebben hoe een infrastructuur in de toekomst gaat of kan functioneren. Dit inzicht is gebaseerd op de huidige staat van de infrastructuur (voor bestaande voorzieningen), toekomstscenario's, operationele doelstellingen en een set van futureproofing criteria. Hieraan kan een analyse toegevoegd worden van de risico's die ontstaan indien een infrastructuur niet future-proof is. De methodiek kan zowel gebruikt worden om bestaande infrastructuren te analyseren als om nieuwe infrastructuur te ontwerpen.

Hoewel de studie dus diverse aspecten van futureproofing behandelt, is ze in dit kader vooral interessant voor wat betreft het definiëren van criteria die bij een future-proofoevaluatie gebruikt kunnen worden, omdat ze specifiek focust op infrastructuurprojecten. Ze is onder andere gebaseerd op de resultaten van workshops, met deelnemers uit zowel de ontwerpsector, de bouw- en aannemerswereld als het beleid.

Futureproofing criteria worden ingedeeld in vijf groepen:

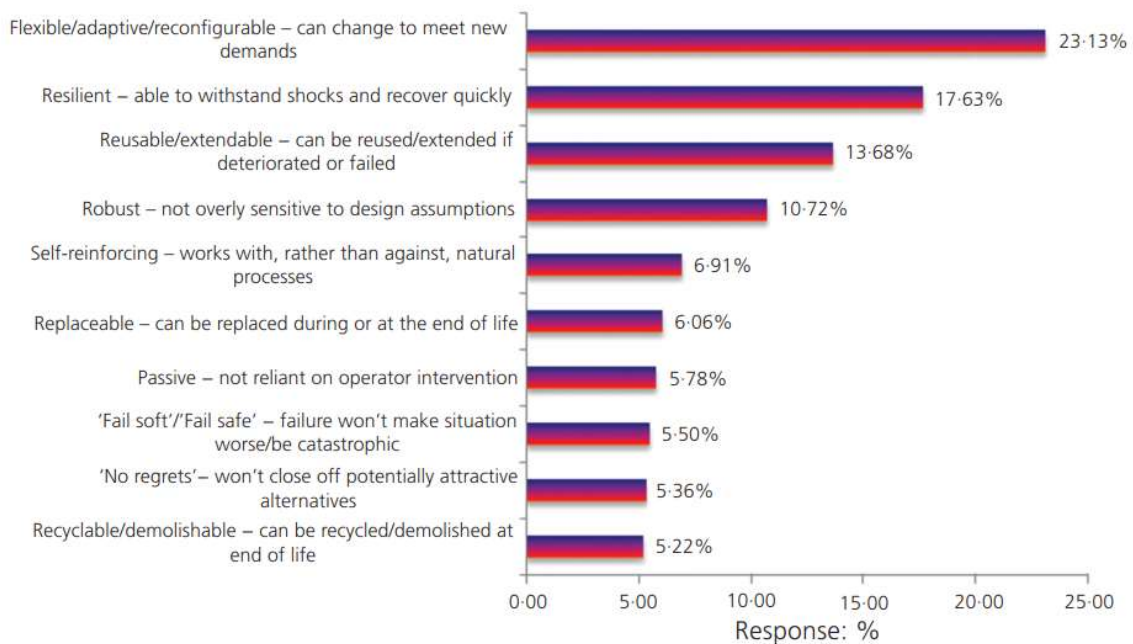
1. **Veerkracht** is de eigenschap om te weerstaan aan veranderingen. Een hoge veerkracht kan bekomen worden door een combinatie van verschillende eigenschappen: weerstand, betrouwbaarheid, redundantie⁷ en herstelcapaciteit.
2. **Aanpasbaarheid** is de mogelijkheid om de infrastructuur gemakkelijk aan te passen of te herconfigureren indien de noden of behoeften wijzigen in de tijd. Aanpasbaarheid heeft verschillende dimensies: uitbreidbaarheid, interne reorganisatie en wijziging van gebruik.
3. **Vervangbaarheid** betekent dat de infrastructuur of delen ervan eenvoudig kunnen vervangen worden, zowel tijdens als aan het einde van de levensduur.
4. **Herbruikbaarheid** betekent dat de infrastructuur of delen ervan herbruikt kunnen worden op het einde van de levensduur of dat de vooropgestelde normale levensduur verlengd kan worden.
5. **Systeemstabiliteit** betekent dat de infrastructuur bijdraagt aan de stabiliteit van een systeem als deze systemen zouden wijzigen. Dit betekent ook dat de infrastructuur positief reageert op natuurlijke ontwikkelingen in de omgeving in plaats van deze ontwikkelingen tegen te werken.

⁷ Redundantie houdt in dat bepaalde onderdelen dubbel, of nog vaker, aanwezig zijn, zodat het geheel goed blijft functioneren wanneer een onderdeel uitvalt.

Om futureproofing succesvol te kunnen toepassen, moet gekozen worden welke groepen van criteria gehanteerd zullen worden in de verschillende procesfasen: planning, ontwerp, bouw, exploitatie, onderhoud en afbraak. Niet alle groepen moeten noodzakelijkerwijze gehanteerd worden voor elk project of in elke fase van een project.

Het onderzoek formuleert ook sleutelcriteria voor futureproofing. Hiervoor kenden experts uit verschillende disciplines gewichten toe aan verschillende criteria volgens hun relevantie. De meest relevante future-proofcriteria⁸, in volgorde van relevantie, zijn

- Flexibiliteit en aanpasbaarheid
- Robuustheid en veerkracht
- Herbruikbaarheid en uitbreidbaarheid
- Stabiele werking (werking niet of weinig afhankelijk van aannames bij planning en ontwerp)



Figuur 7: Meest vermelde future-proofcriteria (bron: Masood, McFarlane, Parlikad et al.: Towards the future-proofing of UK infrastructure)

⁸ Enkel de criteria die door meer dan 10% van de respondenten werden vermeld, worden als relevant criterium weerhouden. Merk op dat we de Engelse term 'resilient' hier vertalen als robuust of veerkrachtig, terwijl het Engelse woord 'robust' eerder overeenkomt met het aspect systeemstabiliteit.

5. STRESSTEST VAN DE R0-NOORD: HOE ZAL DE RING INSPELEN OP TOEKOMSTIGE TRENDS EN EVOLUTIES?

Het 'stresstesten' van de R0-Noord bestaat uit een evaluatie van de manier waarop de verkeersinfrastructuur van de Ring beter of slechter gaat functioneren indien bepaalde trends of evoluties zich sterk zouden doorzetten. Een stresstest brengt niet alleen de relevante trends en evoluties met hun verwachte effecten in beeld maar tracht ook inzicht te geven in de mogelijke gevolgen voor de infrastructuur en haar omgeving. In een stresstest worden de potentiële kwetsbaarheden van een systeem of binnen een gebied geïdentificeerd zodat duidelijk wordt waar een adaptatiestrategie moet op inspelen.



"The best way to know the future is to create it"

Abraham Lincoln, 16de president van de V.S., bekend omwille van zijn redevoeringen met logica en humor

5.1. Weerhouden relevante trends en ontwikkelingen

Klimaatwijziging, nieuwe technologieën en connectiviteit en slimme, geïntegreerde mobiliteit worden vooropgesteld als de meest relevante trends en ontwikkelingen voor de uitwerking van de future-proofverkenning binnen het geïntegreerd planningsproces voor de R0-Noord en meer algemeen voor het programma “Werken aan de Ring”.

Ze worden gekozen omdat uit hoofdstuk 3 blijkt dat ze op zowel globaal, Europees als Vlaams niveau relevant zijn en tevens omdat er uit deze trends relatief concrete en goed te omschrijven veranderingen kunnen afgeleid worden. Bovendien zijn het trends waarover er een relatief grote consensus bestaat dat ze zich ook effectief zullen doorzetten, ze hebben dus een grote mate van zekerheid. Toch moet rekening gehouden worden met onzekerheden. Daarom worden per besproken trend telkens ook de belangrijkste onzekerheden opgesomd.

Klimaatwijziging



Er is de algemene verwachting dat de R0 in de toekomst zal blootgesteld worden aan meer extreme weersomstandigheden, zowel in frequentie als intensiteit (temperatuurverandering, stormen, stijging van zeeniveau, ...). Dit zal een impact hebben op het ontwerp, bouwen, gebruiken en onderhoud van de R0, zoals wegdekbeschadigingen door extremere temperaturen, het verzwakken van kunstwerken door hevige neerslag en de daarmee gepaard gaande overstromingen. Extreme weersomstandigheden kunnen leiden tot het frequent optreden van (volledige of gedeeltelijke) tijdelijke onbeschikbaarheid van de R0 als verkeerssysteem.

Nieuwe technologieën en connectiviteit



Door de exponentiële technologische evolutie zal zowel op het gebied van voertuigtechnologie als infrastructuur het functioneren van de R0 sterk beïnvloed worden. Denken we hierbij aan energie-efficiëntere voertuigen, zelfherstellende materialen, batterijtechnologie, communicerende en zelfrijdende voertuigen, drones. Maar ook aan de automatisering en robotisering in de aanleg, het onderhoud en het beheer van infrastructuren en kunstwerken.

Slimme en geïntegreerde mobiliteit



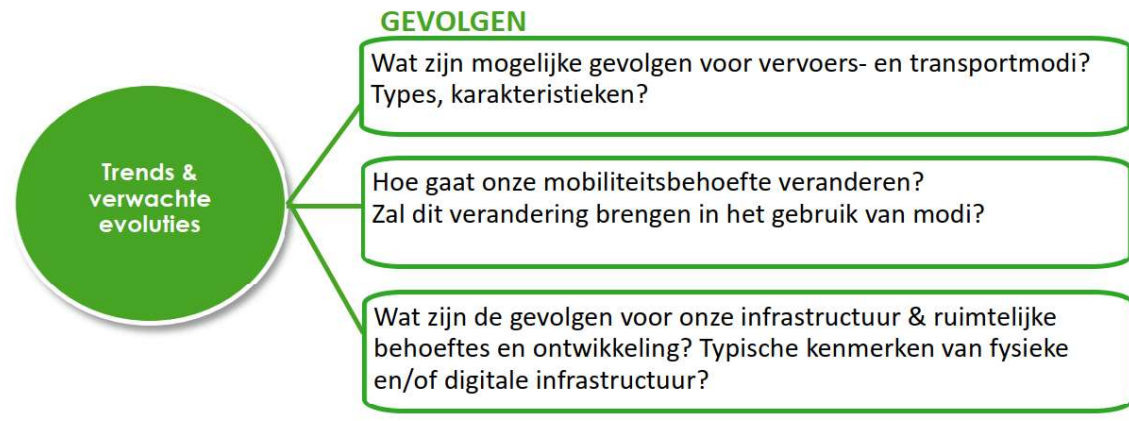
Door de technologische evolutie en menselijke gedragsverandering zullen de verplaatsingen op de R0 een onderdeel zijn van een combimodaal transportsysteem waarbij naadloos wordt overgestapt van de ene op de andere modus. Hiertoe worden multimodale hubs of Hoppinpunten uitgerust en digitaal gestuurd door MaaS- en Laas-systemen. Evoluties in communicatietechnologie zullen toelaten om op een intelligentere wijze de capaciteit van de R0 te benutten. Denken we hierbij aan Big Data, het Fysieke Internet, blockchaintechnologie en ook het inzetten van financiële instrumenten die zullen toelaten onze verplaatsingen anders te organiseren.

Omdat het geïntegreerd planningsproces voor de R0-Noord niet enkel een infrastructuurproject is maar in essentie een ruimtelijk planningsproces, is ook de **ruimte-impact**, zowel de ruimte-inname als het ruimtegebruik, een belangrijk aspect. Dit wordt echter gezien als een afgeleid effect, in die zin dat er geen trends en evoluties op het gebied van de ruimtelijke ontwikkeling worden vooropgesteld, maar dat vanuit de verwachte trends en ontwikkelingen zal getracht worden om in te schatten wat de mogelijke effecten op de ruimtelijke context zouden kunnen zijn. De ruimte-inname en het ruimtegebruik kunnen variëren onder andere in functie van:

- Technologische evolutie (3D-mobiliteit of verticale gelaagdheid van transportsystemen, autonome voertuigen, ...)
- Gedragsverandering (veranderde mobiliteitsbehoefte en -vraag, wijzigingen in de verplaatsingswijze, wijzigende bezettingsgraad van voertuigen wat zorgt voor een verandering in capaciteitsbehoefte)
- Veranderend maatschappelijk draagvlak voor het maken van vele en/of verre verplaatsingen maar ook voor investeringen in grootschalige infrastructuurprojecten

Vanuit de geselecteerde trends en ontwikkelingen werden tijdens de expertdialogen drie concrete evoluties naar voor geschoven. Vertrekkende van de hypothese dat deze zich in de toekomst met een grote mate van zekerheid sterk zullen doorzetten, wordt de verwachte impact op de transportwijzen, de mobiliteitsbehoefte en de fysieke en digitale infrastructuur ingeschat. Uit het laatste aspect volgen ook mogelijke gevolgen op het gebied van de infrastructurele en de ruimtelijke ontwikkeling. De bespreking van de trends en hun mogelijke gevolgen in de onderstaande paragrafen, is eveneens gebaseerd op de expertdialogen.

Wat als klimaatverandering zich sterk doorzet?	Wat als autonome systemen volledig doorbreken?	Wat als MaaS en Fysieke Internet de standaard marktmodellen zijn?
--	--	---



Figuur 8: Onderzoeksvragen stresstest R0 (figuur Tomorrowlab)

5.1.1. Wat als de klimaatverandering zich sterk doorzet?

Gevolgen voor vervoers- en transportmodi

Veranderende weersomstandigheden kunnen de keuze van transportmiddel beïnvloeden. Een sterke stijging van de temperatuur kan de populariteit van fietsen en te voet gaan om zich te verplaatsen, doen afnemen. In voertuigen veroorzaken sterkere koelsystemen een hoger energieverbruik.

Qua aandrijving evolueert men naar 'klimaatneutrale' voertuigen. Hoewel vandaag heel sterk ingezet wordt op de elektrificatie van het wagenpark, is het niet zeker dat elektrische aandrijving de standaard zal worden in de toekomst. Grote uitdagingen blijven de autonomie van elektrisch aangedreven voertuigen en de uitbouw van een uitgebreid (publiek) netwerk van oplaadmogelijkheden. Technologische evoluties die hier op inspelen zijn technieken om beter energie te stockeren, inductiesystemen of het werken met verwisselbare batterijen. Dit zijn evoluties op het gebied van voertuigtechnologie. Er zijn echter ook systemen mogelijk waarbij elektrische voertuigen worden opgeladen terwijl ze rijden, via systemen die in de transportinfrastructuur geïntegreerd zijn. Dit zal leiden tot andere vormen van transportinfrastructuren met mogelijk ook een impact op het ruimtegebruik en het ruimtelijk en landschappelijk voorkomen van de infrastructures. Voorbeelden zijn oplaadsystemen ingewerkt in het wegdek, continue oplaadsystemen langs de weg of nog wegen met elektrische bovenleiding. Voor voertuigen die frequent halteren kan een fijnmazig netwerk van snelle laders een oplossing bieden waarbij bijvoorbeeld bussen van het openbaar vervoer aan elke halte kort opladen.

Verandering van de mobiliteitsbehoefte

De klimaatproblematiek heeft een impact op maatschappelijke en economische processen. Eén van de verwachte gevolgen is dat het beheersen van de klimaatveranderingen de kostprijs van de mobiliteit gaat beïnvloeden. Dit kan rechtstreeks gebeuren, bijvoorbeeld door het treffen van fiscale maatregelen zoals het heffen van een CO₂-taks. Onrechtstreeks kunnen er verschuivingen optreden op het gebied van de aandrijving van voertuigen en de transportmodi. Deze aspecten hebben zowel betrekking op het personenvervoer als (en misschien vooral) op het goederenvervoer. Meer aandacht voor klimaat kan ook leiden tot een verhoogd belang van de korteketen-economie. Een typerend kenmerk van korte keten is het directe contact tussen producent en consument, wat leidt tot minder verplaatsingen, vooral over lange afstand. Het principe van de korte keten wordt vandaag hoofdzakelijk ingezet op de landbouw en de voedingsindustrie, maar kan ook op andere sectoren toegepast worden. In essentie gaat het over het verkleinen van de fysieke afstand en het verminderen van het aantal schakels tussen producent en consument.

Gewijzigde kenmerken van de infrastructuur en ruimtelijke ontwikkeling

Allerlei infrastructures en kunstwerken zijn onderhevig aan weersomstandigheden en kunnen dus ook gevolgen ondervinden van klimaatsveranderingen. Infrastructuur zal bestand moeten zijn tegen extremer weer op verschillende vlakken zoals extreme neerslag en langere periodes van droogte. Daarbij zorgt het huidige traditionele materiaalgebruik voor de aanleg van wegen voor een potentiële versterking van het hitte-effect. Meer bossen en bomen langs wegen kunnen noodzakelijk zijn om lokale hitte-effecten te milderen.

Relevante onzekerheden

- Het lijkt logisch om te streven naar het zo goed mogelijk infiltreren van water om overstromingen ten gevolge van hevige neerslag te vermijden. Anderzijds moet meer water opgevangen en bijgehouden worden om lange periodes van droogte te overbruggen. Daarbij kunnen grote infrastructures met veel verharde oppervlakte dienen voor watercaptatie en stockage, bijvoorbeeld in bekkens onder de infrastructuur.
- Mogelijk zijn elektrische voertuigen slechts een tussenstap naar volledig 'klimaatneutrale' voertuigen. Er is nog geen zekerheid over welk aandrijfmodel de standaard zal worden.
- Er is nog weinig bekend over de mogelijke impact van de klimaatwijziging op de binnenvaart. Een gebrek aan water tijdens lange droge periodes kan hierop verregaande implicaties hebben. De haalbaarheid van een gewenste modal shift, waarbij meer verkeer, met name vrachtverkeer, via de binnenvaart gebeurt, kan omwille van deze reden in vraag gesteld worden.
- Het is niet onrealistisch om te denken dat in de toekomst het weer aangestuurd zal kunnen worden door menselijke technologie. Wellicht zal dit enkel lokaal kunnen. Hierbij rijst de vraag hoe dit internationaal geregeld kan worden. Landen of regio's die niet over de juiste technologie (en de nodige financiële middelen) beschikken, zullen vooral geconfronteerd worden met de negatieve gevolgen van deze mogelijkheid.

5.1.2. Wat als autonome systemen volledig doorbreken?

Gevolgen voor vervoers- en transportmodi

Een aanbod aan hoogperformante individuele vervoersmiddelen kan leiden tot een sterke toename van de individuele mobiliteitsvraag. Niet alleen zorgen intelligente autonome systemen voor een veilig en vlot verkeer en dus een reductie van de verplaatsingstijd, ook het verplaatsingscomfort neemt toe op verschillende vlakken. De tijd besteed aan het besturen van een voertuig, kan in een zelfrijdend voertuig voor andere activiteiten gebruikt worden. Verplaatsingstijd is niet langer verloren tijd. Ook de stress van het zelf rijden valt weg. De inrichting en uitrusting van de voertuigen speelt hier maximaal op in. Autonoom rijden combineert dus in zekere zin de voordelen van individueel en collectief vervoer. Dit vermindert de aantrekkelijkheid van alle vormen van collectief vervoer en openbaar vervoer.

Daarbij kan een spanningsveld ontstaan tussen de steden en de buitengebieden. Als de steden verder groeien en de welvaart van haar bewoners toeneemt, zal de mobiliteitsvraag toenemen, alsook de vraag naar individuele mobiliteit. Autonome systemen zullen daarom vlugger doorbreken in en omheen grote steden en op belangrijke assen tussen de grotere steden. In dichter bevolkte gebieden zoals de steden is het ook rendabeler om te investeren in nieuwe of aangepaste infrastructuur voor autonome transportsystemen. Als gevolg daarvan zullen de landelijke gebieden langer of zelfs continu blijven afhankelijk van klassieke transportmodi.

Een evolutie naar autonome systemen zal zorgen voor een verschuiving van voertuigbezit naar voertuiggebruik. Het belang van het individuele bezit van een vervoersmiddel neemt af ten voordele van de vlotte beschikbaarheid van een vervoersmiddel om te voldoen aan de individuele vervoersvraag. Dit speelt vooral in gebieden waar er een ruim en gevarieerd aanbod aan vervoerssystemen ter beschikking zal staan van de gebruiker. Systemen die bij voorkeur gemakkelijk toegankelijk en flexibel georganiseerd zijn. Dit houdt verband met het MaaS-concept voor personenvervoer en het LaaS-concept voor goederenvervoer, die in volgende paragraaf verder aan bod komen.

Ook de aspecten van exploitatie en beheer zullen veranderen. Om autonome systemen optimaal te laten functioneren, zullen dienstverlenende bedrijven niet alleen instaan voor het aanbod aan vervoersmiddelen, maar mogelijks ook voor de exploitatie en het beheer van de vervoersinfrastructuur. Dit kan leiden tot een andere rol van de overheid, waarbij ze niet meer of toch niet meer exclusief instaat voor de bouw en het beheer van de verkeersinfrastructuur. Op het gebied van transportmodi vervaagt het onderscheid tussen het individueel privaat vervoer en het gemeenschappelijk collectief vervoer, en daarmee ook het verschil tussen publiek en privaat transport.

Op het gebied van goederenvervoer zal de exploitatie van hoogperformante autonome systeem leiden tot het doorbreken van nieuwe transportmodi zoals drones of hyperloops. Logistieke hubs zorgen voor overslagmogelijkheden, zowel tussen verschillende bedieningsniveaus (internationaal, regionaal en lokaal) als tussen de verschillende modi.

Automatisatie kan ook helpen om te evolueren naar synchromodaliteit. Synchromodaliteit is het optimaal flexibel en duurzaam inzetten van verschillende transportmodaliteiten in een netwerk onder regie van een logistiek dienstverlener, zodanig dat de klant een geïntegreerde oplossing voor zijn vervoer krijgt aangeboden. Kenmerkend bij een synchromodale oplossing is dat de klant 'a-modaal' boekt. De beslissing over de te gebruiken modi laat hij over aan de dienstverlener.

Verandering van de mobiliteitsbehoefte

Meer autonome voertuigen zorgen er voor dat de capaciteit van infrastructuur toeneemt omdat voertuigen op een veilige manier dicht op elkaar kunnen rijden of via blockchain-technologie over bepaalde deeltrajecten gekoppeld aan elkaar kunnen rijden. Omdat verplaatsingen daardoor gemakkelijker, sneller en comfortabeler worden, worden ze terug aantrekkelijk en ontstaat er een stijging van de mobiliteitsvraag. Dit geldt zowel voor het personenvervoer als voor het goederenvervoer. Een evolutie naar autonome systemen kan dus een toename van het verkeer tot gevolg hebben.

De zelfrijdende voertuigen maken rijden ook mogelijk voor groepen die dat vandaag niet kunnen of mogen, zoals ouderen of mensen met een mentale of fysieke handicap.

Gewijzigde kenmerken van de infrastructuur en ruimtelijke ontwikkeling

Technologische voorwaarden voor de ontwikkeling, introductie en toepassing van autonome systemen zullen een aangepaste verkeersinfrastructuur vereisen. Autonome systemen hebben een impact op de werking van de infrastructuur op het vlak van veiligheid, verkeersefficiëntie en ruimtelijke impact. Een systeem met volledig autonome en zelfrijdende voertuigen heeft een positieve impact op de ruimte-inname en de inrichting van de infrastructuur. De rijbanen kunnen smaller zijn, aansluitingscomplexen kunnen compacter worden en er zijn minder borden en signalisatie nodig.

Verschillende autonome systemen hebben ook elk hun eigen ruimtelijk voorkomen. Waar de verkeersinfrastructuur nu ontworpen wordt voor een relatief uniform veld van voertuigen die op een identieke manier werken, bestuurd en aangedreven worden, zal in de toekomst behoefte ontstaan aan corridors die verschillende transportsystemen bundelen en combineren. Voorbeelden zijn snelle corridors waar niet alleen zelfrijdende voertuigen zich over verplaatsen maar bijvoorbeeld ook hyperloops, monorails en dronecorridors er deel van uitmaken.

Dit leidt eveneens tot het idee dat verkeersinfrastructuren zullen evolueren van tweedimensionale systemen vandaag naar drie- of zelfs vierdimensionale systemen in de toekomst. In een driedimensionaal systeem worden verschillende onderdelen van de infrastructuur niet meer naast elkaar geschikt maar op elkaar gestapeld. Hierbij wordt naast het klassieke ruimtegebruik gekoppeld aan het maaiveld ook gebruik gemaakt van zowel de ondergrond (bijvoorbeeld voor logistieke transportsystemen) als de lucht (bijvoorbeeld voor dronecorridors). Het is evident dat deze evolutie een sterke impact zal hebben op hoe verkeersinfrastructuren ontworpen en gebouwd worden maar ook op het ruimtelijk en landschappelijk voorkomen van de infrastructuur en de integratie ervan in de omgeving.

Het afnemend belang van het individuele voertuigbezit heeft dan weer ingrijpende gevolgen voor het ruimtelijk voorkomen van de bebouwde omgeving. Het belang van de aanwezigheid van parking neemt af, zowel van individuele garages in of nabij de woning of de werkplek als van parkeervoorzieningen bij commerciële, culturele en recreatieve voorzieningen. Daartegenover staat de noodzaak om te beschikken over 'stations' waar autonome voertuigen gestald kunnen worden.

Relevante onzekerheden

- De mate en snelheid waarmee nieuwe technologieën effectief geïntroduceerd zullen worden, is onzeker. Technologische evoluties worden vaak overschat of 'gehypet'. Zaken die beloftevol zijn, ontwikkelen niet altijd even snel en op de manier dat ze initieel bedacht zijn. Het gebruik van vooruitstrevende nieuwe technieken blijkt zich vaak ook te beperken tot bepaalde nichemarkten.
- Niet iedereen is er van overtuigd dat de veralgemeende introductie van autonome systemen zal leiden tot een lager individueel voertuigbezit. Indien de meerkost van autonome voertuigen eerder beperkt zou zijn, is de verwachting dat het cocoon-effect van de auto (mijn auto = mijn vrijheid) nog verder gaat toenemen.
- De traagheid van het wetgevend kader zet vaak een rem op het effectief gebruik van nieuwe technologie. Knelpunten zijn onder andere de bevoegdheidsverdeling (lokaal / regionaal / nationaal / supranationaal), de doorwerking van de verkeersreglementering met gerelateerde beleidsvelden en juridische kaders op het vlak van bijvoorbeeld aansprakelijkheid, fiscaliteit of privacy.
- Autofabrikanten werken volop aan de ontwikkeling van technologie die auto's binnen nu en enkele jaren in staat stellen volledig zelfstandig hun weg te vinden op de snelwegen. Maar naast inzetten op technologie die de auto zélf autonoom maakt, moet ook gewerkt worden aan een aangepaste stedelijke verkeersinfrastructuur waarin semi-autonome voertuigen zich stapsgewijs kunnen ontwikkelen tot volledig autonome voertuigen. Volgens het Utrechtse bedrijf 2GetThere, specialist in autonome vervoersoplossingen, is een grootschalige introductie van zelfrijdende auto's in het huidige stadsverkeer de komende tien tot vijftien jaar geen haalbaar scenario.⁹
- Naast de autofabrikanten zijn er de ontwikkelaars van geautomatiseerde OV-systemen, die autonome voertuigen koppelen aan omgevingstechnologie en aparte rijstroken. Het lijkt dan ook logisch dat geautomatiseerd vervoer stapsgewijs wordt ingevoerd, beginnend in gecontroleerde omgevingen zoals

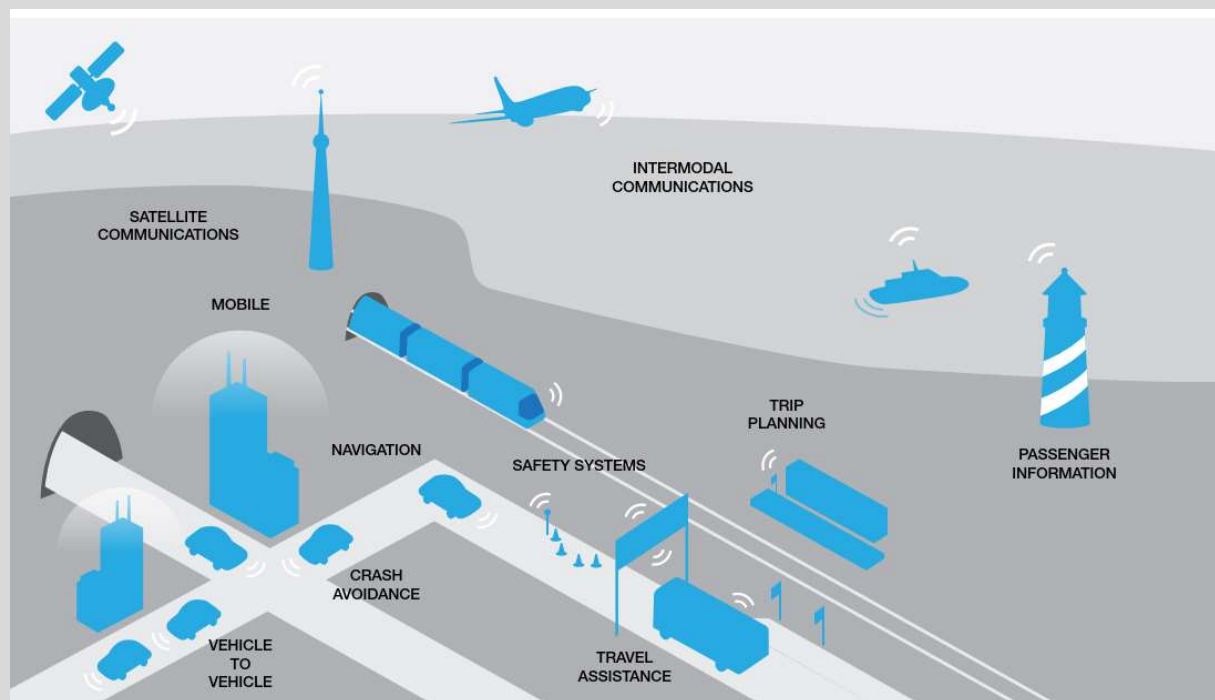
⁹ 2getthere, whitepaper 'Wanneer wordt autonoom vervoer werkelijkheid?' (november 2017)

bedrijvzones, onderwijscampussen en luchthavens. Nadien kan stapsgewijs overgeschakeld worden op minder gecontroleerde omgevingen. Binnen deze stapsgewijze invoering komen hoofdwegen dan prioritair in aanmerking voor volgende fases.

- Een evolutie kent altijd een transitieperiode waarin een bestaand en een nieuw systeem samen voorkomen. In het kader van een evolutie naar autonome vervoerssystemen vraagt deze transitieperiode extra aandacht. Zo zal de infrastructuur deze transitie moeten kunnen opvangen en sturen, met name gedurende de periode waarin zowel autonome als niet autonome voertuigen van dezelfde infrastructuur gebruik zullen maken. Hierbij stelt zich de vraag of beide voertuigtypes gemengd kunnen worden of eerder gescheiden moeten worden. Dit wijst op het belang van adaptieve infrastructuur. Dit zijn infrastructuren die stapsgewijs en stelselmatig kunnen aangepast worden om nieuwe evoluties in goede banen te leiden en zo transitieperiodes te kunnen overbruggen.
- Bijkomende onzekerheid is de duur van een transitieperiode. Dit is afhankelijk van de verwachte gebruikperiode van een transportmiddel en is een economisch gegeven. Voor vrachtwagens moet bijvoorbeeld rekening worden gehouden met een gemiddelde gebruiksduur van 30 jaar. De overheid kan hier evenwel sturend in optreden (zie bijvoorbeeld invoeren van LEZ-zones om oudere, meer vervuilende voertuigen te weren).

WAT ZIJN AUTONOME VERVOERSYSTEMEN?

Door de vooruitgang van de communicatietechnologie wordt transport meer geïntegreerd, efficiënt, comfortabel en ecologisch. Intelligente transportsystemen zorgen voor vlottere verkeersstromen, een correctere kostenverdeling en een hogere veiligheid. De basis van autonome of intelligente transportsystemen (ITS) is continue communicatie op 3 niveaus: in het voertuig, tussen voertuigen onderling en tussen het voertuig en de omgeving.



Figuur 9: schema ITS (bron European Telecommunications Standards Institute)



Bij autonome systemen wordt direct gedacht aan zelfrijdende auto's. Geautomatiseerde auto's kunnen leiden tot een voorbeeldig rijgedrag en op die manier de veiligheid van alle weggebruikers verbeteren, maar ook zorgen voor een vermindering van de uitstoot en de verkeerscongestie. De zelfrijdende auto van Google herkent en reageert op de weginfrastructuur, op wegenwerken en op bewegingen van fietsers.



Een ander type van geautomatiseerd rijden is het zelfrijdend konvooi, getest door Volvo. Hierbij worden voertuigen draadloos aan elkaar gekoppeld en volgen ze een leidend voertuig (dat wel een bestuurder heeft). Zelfrijdende konvooien maken optimaler gebruik van de wegcapaciteit, waardoor er minder congestie is, en zorgen voor tot 20% minder verbruik. Het systeem werkt zowel met personenauto's als met vrachtwagens.

Hoewel de zelfrijdende auto zeker een belangrijk aspect is waar de bedrijfswereld sterk op inzet, dragen ook andere ontwikkelingen bij aan de verdere evolutie naar autonome vervoerssystemen. Volgens de Europese MORE-studie¹⁰ zullen in de decennia na 2030 volgende 3 autonome vervoerssystemen de pijlers van ons transportsysteem zijn: autonome voertuigen, low-altitude air mobility (drones) en hyperloops.

Diverse onderzoeksinstituten en bedrijven bekijken of drones kunnen ingezet worden in het logistiek netwerk. Deze techniek is interessant in landen of regio's waar er geen uitgebreid wegennetwerk is maar ook in gebieden waar de verkeersdrukke en bijhorende congestie het wegennetwerk onbetrouwbaar maakt. In deze zones kunnen autonome drones de vlugste en goedkoopste methode zijn om lichte pakketten bij of dichtbij de bestemming te leveren.



Drones kunnen ook ingezet worden voor dringende medische transporten zoals medicatie. Sommige modellen voorzien een netwerk van basisstations, waar drones kunnen beladen en opgeladen worden.

Een hyperloop is een autonoom transportsysteem waarbij gebruik gemaakt wordt van een luchtdrukbus, enigszins vergelijkbaar met buizenpost, waardoor mensen en goederen getransporteerd worden. Het concept bestaat uit twee bijna luchtledige pijpen. In een buis worden capsules geplaatst waarin goederen en/of mensen met hoge snelheid vervoerd kunnen worden. De komst van een hyperloop kan de reistijd tussen Amsterdam en steden als Brussel, Düsseldorf en Duisburg verkorten tot minder dan dertig minuten.



Naast slimme voertuigen wordt ook werk gemaakt van slimme infrastructuur. Voorbeelden zijn meer duurzame wegen die zelf energie produceren. Mogelijke technologieën zijn de regelmatige plaatsing van kleine windturbines die de wind gegenereerd door voorbijrijdende voertuigen omzet in energie voor verlichting of dataverzenders. Aan de North Carolina State University werd een techniek ontwikkeld om draadloos energie te versturen van een vaste bron naar een mobile ontvanger. Een dergelijk systeem kan bestaan uit de installatie van laadposten langsheen een weg. Telkens een voertuig de post passeert, wordt een hoeveelheid energie

¹⁰ Multimodal Optimiser of Roadspace in Europe (MORE), D3.2 Future road users' needs, september 2018

opgeladen. Dit kan de autonomie van een elektrisch voertuig sterk vergroten. Het 'Solar Roadways Project' mikt op het vervangen van asfalt of beton door verhardingen met geïntegreerde zonnepanelen voor de aanleg van wegen, fietspaden en parkings. De zonnepanelen produceren groene stroom maar zorgen tegelijk voor verlichting, warmte om sneeuw of ijs te doen smelten en kunnen via inductie ook elektrische voertuigen opladen terwijl ze over het oppervlak rijden.

5.1.3. Wat als MaaS en IoT standaard marktmodellen worden?

Gevolgen voor vervoers- en transportmodi

Om MaaS tot een succes te maken, moeten alle vervoerssystemen geïntegreerd worden en alle vervoersaanbieders met elkaar samen werken. Alle mobiliteit wordt één. Het integreren van vervoerssystemen wordt aangeduid met termen zoals multimodaliteit, intermodaliteit of combimodaliteit. Los van de term, berust het systeem op snelle en gemakkelijke overstapmogelijkheden van de ene modus op de andere via hubs. De opeenvolging van hubs op verschillende plaatsen en van diverse schaalniveaus leidt tot het concept van het 'kralensnoer' van hubs. Dit is vergelijkbaar met de opeenvolging van aansluitingscomplexen en verkeerswisselaars langs het huidige wegennetwerk of de verschillende lokale, bovenlokale en internationale treinstations op het spoorwegennet. Het essentiële verschil is dat in het huidige systeem deze kralen en het snoer veelal unimodaal zijn, terwijl in het toekomstige systeem elke kraal een combimodaal punt is op een combimodaal netwerk.

Het principe van het netwerk van hubs heeft ook een belangrijke operationele invalshoek. Het MaaS principe veronderstelt een eenheid van tarifiering en betalingswijze, waarbij de klant betaalt voor één verplaatsing van A naar B, ongeacht de vervoerswijze en de operator. Ook het reservatiesysteem moet gebruik maken van één geïntegreerd digitaal platform. Dit vereist een samenwerking en afstemming tussen verschillende operatoren en exploitanten, dit kan ook een verregaande samenwerking en afstemming tussen publieke en private aanbieders van vervoerssystemen noodzaken.

Binnen het domein van het goederentransport vertaalt het concept van het Fysieke Internet zich vooral in de ontwikkeling van volledig verbonden en open netwerken van (hoofdzakelijk logistieke) diensten waarin fysieke objecten worden verplaatst, opgeslagen, geleverd en gebruikt. Logistieke hubs sluiten bij voorkeur aan op diverse transportmodi: weg, water en spoor, maar ook nieuwe vormen van transportinfrastructuur zoals ondergrondse systemen voor goederenvervoer, hyperloops of dronecorridors.

De vraag is welke plaats voetgangers en fietsers binnen deze netwerken zullen innemen. Mogelijks zal het belang van deze zachte vervoerswijzen afnemen omdat er dankzij een doorgedreven connectiviteit steeds snelle en comfortabele vervoerswijzen ter beschikking staan van de gebruiker. Dit geldt zeker voor verplaatsingen over langere afstanden.

Verandering van de mobiliteitsbehoefte

Bij MaaS staat de verplaatsingsbehoefte van de reiziger centraal. Flexibiliteit en keuzevrijheid spelen daarin een belangrijke rol. Daarnaast moet rekening gehouden worden met budget, duurzaamheid en reistijd. Omdat eender waar en op elk moment een efficiënt vervoerssysteem wordt aangeboden, op maat van de individuele klant, kan aan elke mobiliteitsvraag tegemoet gekomen worden, wat kan leiden tot een stijging van de globale mobiliteitsvraag. De kostenfactor speelt hier evenwel in mee. Indien deze mobiliteitsdiensten zeer duur zouden zijn, kan een vorm van 'vervoersarmoede' ontstaan, waarbij de mobiliteitsbehoefte wel blijft bestaan maar de effectieve mobiliteitsvraag kan afnemen.

Fysiek Internet moet een logistiek alternatief bieden voor de klassieke supply chain. Het vereist volledig open en verbonden netwerken waarin magazijnen, terminals en het transport worden gedeeld. De verwachting is dat goederentransport efficiënter zal verlopen. Door een betere en geautomatiseerde afstemming tussen verschillende goederenstromen zullen niet rendabele verplaatsingen (bijvoorbeeld het terugrijden van een lege vrachtwagen na een levering) tot een minimum beperkt kunnen worden. Er is dus een evolutie naar minder maar efficiënter transport, met een betere benuttingsgraad van de transporten. Dit zal ook gepaard gaan met een betere spreiding van transport in de tijd. Dankzij de interconnectiviteit tussen personen, goederen en diensten, kan gewerkt worden met tijdslots en prijslots om congestie op hoofdassen te vermijden. Dit vereist een sterk geconnecteerd netwerk in combinatie met een efficiënte regulering en sturing, al dan niet door de overheid.

Gewijzigde kenmerken van de infrastructuur en ruimtelijke ontwikkeling

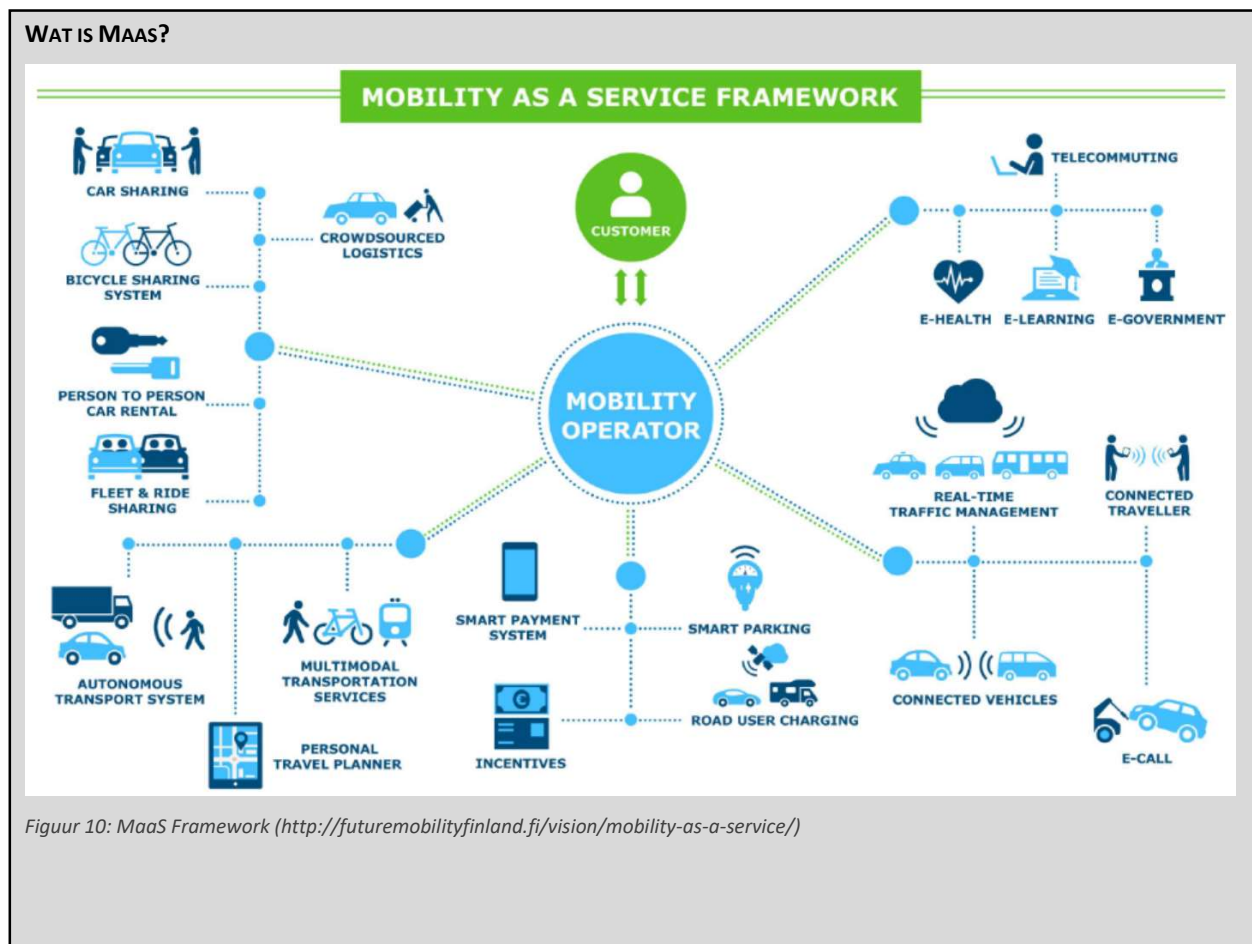
Zowel MaaS (eerder gericht op vervoer van personen) als Laas en IoT (vooral voor logistiek) vereisen de creatie van multimodale hubs op cruciale plekken op toegangswegen tot steden of bedrijventerreinen. Belangrijke openbaar vervoersverbindingen, bij voorkeur met een hoogwaardig karakter zoals snelle tramverbindingen, metrolijnen of stadstreinen, sluiten hierop aan. Om deze hubs te creëren, moet er voldoende ruimte zijn ter hoogte van de knooppunten tussen verschillende transportinfrastructuren. Vraag is of deze hubs zich rond de R0 moeten situeren of verder buiten de stad moeten liggen.

De schaal van dergelijke hubs is een aandachtspunt. Wellicht is een divers gamma van schaalgroottes nodig, gaande van kleine hubs op niveau van micromobiliteit tot echte high-capacity hubs met bijvoorbeeld overstapparkings met een capaciteit van 10.000 voertuigen of meer. Het schaalaspect is rechtstreeks verbonden met de problematiek van het ruimtebeslag.

Essentieel bij toepassing van de MaaS en IoT-concepten is dat het mobiliteitssysteem overgaat van een vraagvolgend model naar een vraaggestuurd model. Dit betekent dat de mobiliteitsdiensten worden aangeboden op basis van de beschikbare middelen en capaciteit en dat in functie daarvan steeds de meest optimale oplossing aan de klant kan worden aangeboden. Het principe is dat buffercapaciteit op de transportinfrastructuur maximaal wordt benut, waardoor de infrastructuur ook niet langer op basis van vraagvolgende piekbelastingen gedimensioneerd moet worden. Daarom is de capaciteit bij voorkeur een dynamisch en geen statisch kenmerk van een infrastructuur. Dit noodzaakt transportinfrastructuur die flexibel kan ingezet worden en zich ook integreert in het fysieke internet en dus communiceert met andere elementen en personen in het netwerk. Een voorbeeld is een snelweg waarbij het aantal rijstroken per richting op een continue en dynamische manier kan aangepast worden zodat binnen het MaaS-concept steeds een maximale capaciteit kan benut worden.

Relevante onzekerheden

- Cruciaal is het belang van databeheer en -sturing. Kwaliteit en snelheid van data moet hoog zijn. Er zal een aangepaste digitale infrastructuur nodig zijn.
- Keuze van woon- en werkplaats blijft cruciaal voor het efficiënt organiseren van nieuwe systemen en blijft belangrijk voor de mobiliteit. Ook de wijze waarop we ons leven organiseren, blijft cruciaal. Verdere evoluties in VR/AR (Virtual Reality en Augmented Reality), bijvoorbeeld op onze manier van werken en recreëren, zijn onzeker maar hebben een grote impact op de efficiënte en rendabele uitrol van concepten zoals MaaS.
- Logistieke vervoerssystemen hebben een andere logica op het gebied van tijd en kostprijs dan personenvervoer. Wellicht blijft het moeilijk om beiden op elkaar af te stemmen of te integreren.
- Volgens sommige deelnemers zijn het MaaS-concept en bijhorende servicemodellen niet vraaggestuurd maar in tegendeel vraagvolgend.
- Wat is de rol van de overheid binnen de nieuwe slimme en geïntegreerde mobiliteitssystemen: organisator, facilitator of regulator?



Mobility as a Service (MaaS) staat voor een nieuwe vorm van mobiliteit, waarbij de consument toegang heeft tot mobiliteit in de vorm van diensten, in plaats van te investeren in het bezit van eigen transportmiddelen of het gebruik van losse diensten zoals openbaar vervoer. Kernwoorden hierbij zijn: toegankelijkheid, snelheid, betrouwbaarheid, betaalbaarheid, comfort, gemak en flexibiliteit. MaaS integreert verschillende vervoermiddelen, zowel publiek als privaat en het aanbod verloopt via een digitaal platform. De aanbieder legt de brug tussen de mobiliteitsvraag (de reiziger of gebruiker) en het mobiliteitsaanbod (de vervoerders). Voor goederentransport bestaat een gelijkaardig concept: Logistics as a Service (LaaS).

WAT IS HET FYSIEKE INTERNET – INTERNET OF THINGS (IOT)?



In 1999 introduceerde Kevin Ashton, manager bij Procter & Gamble de term 'Internet der dingen' (Internet of Things, afgekort IoT): *"Adding radio-frequency identification and other sensors to everyday objects will create an Internet of Things, and lay the foundations of a new age of machine perception"*.

Door alle objecten, inclusief mensen, van identifiers te voorzien, zou de echte wereld geïnventariseerd en gemanaged kunnen worden door computers. Te denken valt bijvoorbeeld aan het volgen van het transport van pakketjes. Een hedendaagse definitie van het internet der dingen is "een voorgestelde ontwikkeling van het internet, waarbij alledaagse voorwerpen zijn verbonden met het netwerk en gegevens kunnen uitwisselen"¹¹. Het Fysieke Internet gaat er dus van uit dat door de ontwikkeling van IoT producten intelligent worden. Deze intelligentie kan worden gebruikt om beslissingen te nemen. Beschikbaarheid van data is daarbij essentieel.

Naar analogie met het versturen van e-mails ben je als afzender bezig met de boodschap, maar hoe die uiteindelijk bij de ontvanger komt, is niet relevant. Feit is dat een e-mail in kleine deeltjes wordt opgedeeld en via diverse hubs in één geheel bij de ontvanger aankomt. Die hubs staan met elkaar in verbinding. Die analogie is in het concept van het Fysieke Internet vertaald naar logistieke en transportnetwerken waarbij goederen of personen op het juiste moment op de juiste plek terechtkomen, het *hoe* maakt in feite niet uit.

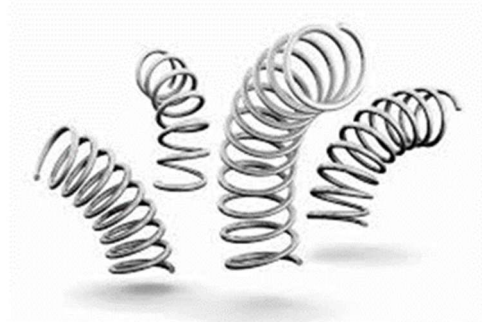
¹¹ Oxford Dictionaries

5.2. Weerhouden criteria

In de benadering van het future-proofaspect binnen het geïntegreerd planproces voor de R0-Noord, wordt er voor gekozen om te focussen op 2 strategieën¹²: robuustheid en flexibiliteit. Dit zijn ook de twee criteria die in de studie van Masood het vaakst vermeld werden als meest relevante future-proofcriteria. Deze beide strategieën worden gehanteerd als criteria om de verschillende planalternatieven voor de herinrichting van de R0-Noord te gaan evalueren.

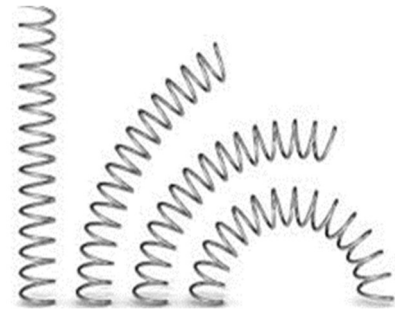
1. Veerkracht of robuustheid van de infrastructuur

Deze eigenschap verwijst naar de capaciteit van de infrastructuur om haar normale werking te behouden of te hernemen tijdens of na onvoorziene evoluties of gebeurtenissen. Dit omvat bijvoorbeeld de capaciteit om te weerstaan aan klimaatveranderingen, overstromingen of zelfs terroristische aanslagen. De veerkracht of robuustheid wordt ook bepaald door de mate waarin de infrastructuur nieuwe functies of andere noden aankan, zonder ingrijpende structurele wijzigingen door te voeren. Dit laatste sluit al aan bij het aspect van de flexibiliteit.



2. Aanpasbaarheid of flexibiliteit van de infrastructuur

Deze eigenschap verwijst naar de mogelijkheden van de infrastructuur om in te spelen op een onverwachte of onzekere toekomst. Dit betekent vandaag al rekening houden met toekomstige noden op het gebied van capaciteit, geschiktheid, bruikbaarheid en wenselijkheid. De aanpasbaarheid of flexibiliteit wordt bepaald door de mate waarin de infrastructuur aangepast kan worden om nieuwe functies op te nemen of om in te spelen op een gewijzigde omgeving.



Een belangrijk aspect bij flexibiliteit is snelheid. De snelheid waarmee een infrastructuur kan aangepast worden aan nieuwe functies of vereisten is essentieel om de mate van flexibiliteit te gaan beoordelen. Ook flexibiliteit tussen verschillende systemen onderling is relevant. Zo heeft de recente gezondheids crisis van 2020 geleid tot het snel aanpassen van het wegensysteem door het aanleggen van bijkomende fietspaden om de shift van openbaar vervoersgebruik naar fietsgebruik te kunnen opvangen¹³. Dit toont aan dat systemen onderling op elkaar afgestemd moeten zijn om soms plots veranderende mobiliteitsvragen op een flexibele manier te kunnen beantwoorden.

Beide strategieën vereisen dat negatieve impact van toekomstige ontwikkelingen moet vermeden of beperkt worden en dat belangrijke maatschappelijke thema's van toekomstige ontwikkelingen (klimaat, luchtvervuiling, energiebronnen, gezondheid, ...) op voorhand in overweging genomen moeten worden in het ontwerpproces (Change-management).


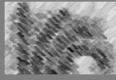
¹² Gebaseerd op Masood, T, McFarlane, DC, Parliakad, AK, Dora, J, Ellis, A, and Schooling, J (2015) Towards the Futureproofing of UK Infrastructure, ICE Journal of Infrastructure Asset Management, accepted 27 Jul 2015, revised 23 Oct 2015.

¹³ Zie bijvoorbeeld bruzz.be op 29-08-2020: '10 kilometer extra coronafietspad op komst'.

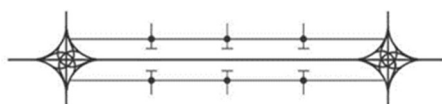
5.3. Beoordeling van de alternatieven


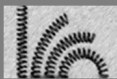












5.3.1. Alternatievengroep Light



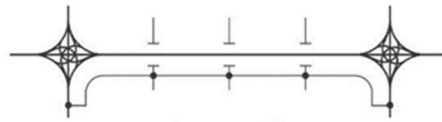
	ROBUUST 	FLEXIBEL 
Klimaat verandering	👍 Infrastructuur beperken in oppervlakte, omvang en complexiteit reduceert kosten om schade ten gevolge van extreme weerfenomenen te herstellen.	👍 Beperkttere ruimte-inname door de infrastructuur zelf betekent meer ruimte rondom voor klimaatingrepen zoals extra bebossing of wateropvang.
	👎 Sterke klimaatwijzigingen kunnen leiden tot een lager gebruik van zachte modi en een toenemend aantal te verwerken voertuigen op de Ring.	👍 Infrastructuur beperken in oppervlakte en omvang reduceert kosten om aan te passen aan extreme externe omstandigheden.
Autonome systemen	👍 Meer aansluitende ruimte om klassieke infrastructuur te bundelen met nieuwe infrastructuren.	👍 Gebundeld systeem eenvoudig flexibel in te delen.
	👎 Compacteren van de verkeersruimte mogelijk zonder bijkomende ruimte-impact of met effectief verder beperken van de ruimte-inname (bijvoorbeeld bij het versmallen van de rijstrookbreedte).	👎 Potentieel minder mogelijkheden om op te schalen naar 3D- of 4D-mobiliteit
MaaS en IoT	👍 Een efficiëntere spreiding van het verkeer in tijd en plaats verhoogt de efficiëntie van het transport en vermijdt dat infrastructuren gedimensioneerd worden op piekbelastingen. Elk light-concept sluit daarom beter aan bij het vraagsturend principe.	👍 Compacte 'klassieke' verkeersinfrastructuur houdt meer ruimte vrij voor creatie van hubs nabij aansluitingscomplexen en verkeerswisselaars.
	👎 Een minder complexe infrastructuur vereenvoudigt de mogelijkheden voor uniformisering van exploitatie en beheer.	👎 Indien er minder aansluitingscomplexen zijn, biedt het alternatief ook minder potenties voor hubs ter hoogte van aansluitingscomplexen en verkeerswisselaars.


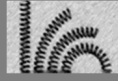











5.3.2. Alternatievengroep Parallel



		ROBUUST 	FLEXIBEL 
Klimaat verandering		Sterke klimaatwijzigingen leiden tot een toenemend voertuiggebruik en een lager gebruik van zachte modi. Dit vereist een grotere wegcapaciteit, die in dit systeem aangeboden kan worden.	
		Meer verharde oppervlakte nadelig voor het beheersen van klimaatveranderingen op het gebied van hitte en neerslag.	
Autonome systemen		Parallelsysteem kan beter een eventuele toenemende mobiliteitsvraag opvangen.	
		Potentieel hogere capaciteit en meer mogelijkheden om op te schalen naar 3D of 4D.	
		Compacteren van de verkeersruimte leidt niet noodzakelijk tot reduceren van de totale ruimte-inname wegens bijkomende aanwezigheid van parallelstructuur.	
MaaS en IoT		Gescheiden verkeerssystemen kunnen aangewend worden voor verschillende exploitatievormen in functie van het MaaS-concept.	
		Een complexe infrastructuur bemoeilijkt de mogelijkheden voor uniformering van exploitatie en beheer.	

5.3.3. Alternatievengroep Lateraal



		ROBUUST 	FLEXIBEL 
Klimaat verandering		Laterale wegen zijn eenvoudigere infrastructures met beperktere kosten om schade ten gevolge van extreme weerfenomenen te herstellen.	
			 Moeilijker om externe aandrijfsystemen te integreren in laterale wegen.  Indien laterale wegen lokaal beheerd worden, vraagt dit afstemming tussen verschillende beheerders om infrastructuur aan te passen aan toekomstige noden.
Autonome systemen		Autonome systemen moeilijk te implementeren op laterale wegen die sterker met het lokale wegennet verweven zijn.	 Systeem dat gericht is op een specifieke vorm van scheiden van verkeersstromen (doorgaand / lokaal) moeilijker aan te passen naar een andere vorm van scheiding (bijvoorbeeld autonoom / niet autonoom rijdend).
		Laterale wegen die sterk verweven zijn in de stedelijke ruimte moeilijk op te schalen naar 3D of 4D.	 Bevoegdheid en beheer meer versnipperd bij laterale wegen die mogelijk lokaal beheerd worden en sterk verweven zijn met de lokale structuur.
MaaS en IoT		Laterale wegen vormen een intermediair tussen het hoofdwegennet (of autosnelwegennet) en het lokale wegennet met meer potentie voor uitwisseling tussen modi en schaalniveaus.	
		Een complexe infrastructuur bemoeilijkt de mogelijkheden voor uniformering van exploitatie en beheer.	 Naarmate de complexiteit van de infrastructuur toeneemt, verhoogt de complexiteit van het digitaal databeheer.  Laterale wegen zijn eerder lokale stedelijke wegen met kruispunten, erftoegangen, e.d.m. Dit lijkt moeilijker digitaal te beheren dan een meer autonoom light- of parallelsysteem.

5.4. Key-elements stresstest

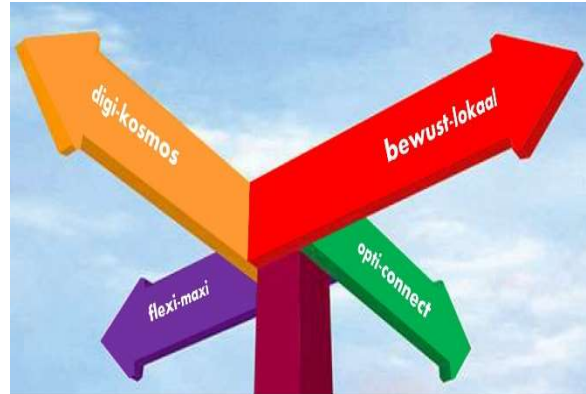
Het valt niet te ontkennen dat de beoordeling van de alternatieven per trend op zich onderhevig is aan interpretatie en onzekerheid, alleen al omdat aan elke weerhouden trend ook een aantal onzekerheden gekoppeld worden. De synthese in 'key-elements' dient om de evaluatie van de verschillende alternatieven scherper te stellen door op zoek te gaan naar de meest essentiële verschillen tussen de alternatieven. Per

alternatief worden de meest prominente pro's of contra's uitgelicht. Dit type van beoordeling focust op het relevante onderscheid tussen de alternatieven en is niet bedoeld als een globale samenvattende conclusie.

	LIGHT 	PARALLEL 	LATERAAL 
DE KLIMAAT-VERANDERING ZET ZICH STERK DOOR	Meer ruimte rondom de infrastructuur voor klimaatingrepen zoals extra bebossing of wateropvang.	Meer verharde oppervlakte nadelig voor het beheersen van klimaatveranderingen op het gebied van hitte en neerslag.	Moelijker om externe aandrijfsystemen in functie van klimaatneutrale voertuigen te integreren in laterale wegen.
AUTONOME SYSTEMEN BREKEN VOLLEDIG DOOR	Gebundeld systeem met een hoge mate van flexibiliteit en controleerbaarheid van de rijbaanindeling zal het invoeren van geautomatiseerde systemen beter ondersteunen.	Potentieel meer mogelijkheden om op te schalen naar 3D of 4D waardoor verschillende systemen in tijd en ruimte naast en met elkaar kunnen functioneren.	Autonome systemen moeilijk te implementeren op laterale wegen die sterker met het lokale wegennet verweven zijn.
MAAS EN FYSIEKE INTERNET WORDEN STANDAARD MARKTMODELLEN	Vanuit de opinie dat het MaaS concept eerder vraagsturend dan vraagvolgend is, sluit een lightconcept hier beter bij aan.	Gescheiden verkeerssystemen kunnen aangewend worden voor verschillende vervoerssystemen en exploitatievormen.	Laterale wegen vormen een intermediair tussen het autosnel- of hoofdwegennet en het lokale wegennet met meer potentie voor uitwisseling tussen modi en schaalniveaus.
SYNTHESE VOLGENS ALTERNATIEF	Het lightalternatief komt naar voor als klimaatrobuust, ook in relatie tot de omgeving. Het is een flexibel verkeerssysteem, dat nauw aansluit bij de kenmerken van systemen zoals MaaS en IoT.	Het parallelsysteem biedt de goede potenties om in te spelen op nieuwe verkeerssystemen en vervoerswijzen. Het flexibel omgaan met het scheiden van verkeerssystemen, vooral in transitieperiodes, is essentieel. Het systeem is echter minder klimaatrobuust.	Door de gelaagde opbouw en de sterkere interferentie met de stedelijke context, toont het lateraal-alternatief sterke potenties voor de implementatie van Maas en IoT. Het systeem lijkt echter minder flexibel en klimaatrobuust.

6. TOEKOMSTPROJECTIE VAN DE R0: HOE ZAL DE RING FUNCTIONEREN IN EEN VIRTUELE TOEKOMSTWERELD?

De oefening van de toekomstprojectie bestaat erin na te gaan welke alternatieven het best scoren in de verschillende werelden of hoe ze kunnen aangepast worden zodat ze in zoveel mogelijk werelden passen. Het maakt daarbij dus op zich niet uit in welke wereld we effectief zullen terechtkomen. Voor deze oefening wordt gebruik gemaakt van de 4 mogelijke toekomstwerelden zoals opgebouwd in de beleidsstudie 'Mobiliteit in de toekomst', van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse overheid: digi-kosmos, flexi-maxi, opti-connect en bewust-lokaal.

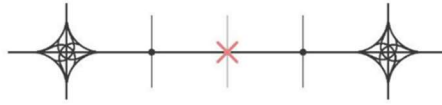


"If I had asked people what they wanted, they would have said faster horses."

Henry Ford, Amerikaans industrieel

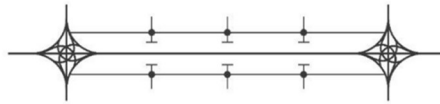
6.1. Beoordeling van de alternatieven

6.1.1. Alternatievengroep Light



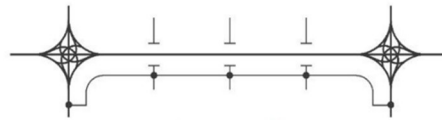
	<p>Minder fysieke verplaatsingen is in overeenstemming met het concept van een light alternatief voor de toekomstige R0. Daarentegen is het vervoer eerder individueel dan collectief. Vrijgekomen ruimte van personenvervoer wordt ingevuld door meer vrachtvervoer op internationale assen, waardoor mogelijks toch weer de vraag naar een hogere capaciteit op de Ring ontstaat. Vrachtvervoer is gekoppeld aan decentrale afwerking wat een netwerk van overslagpunten en verdeelpunten vereist. Het beperkter aantal aansluitingscomplexen is hier een nadeel.</p>
	<p>Door toename van personen- en goederenvervoer dreigt de R0 een knelpunt in het Europees verkeersnetwerk te worden door de menging van verschillende types gemotoriseerd verkeer (doorgaand, lokaal, vracht en auto). Het gevaar bestaat dat internationale spelers op de vervoersmarkt Brussel en Vlaanderen links laten liggen, waardoor er door de beperktere investeringsmogelijkheden en beleidskracht van de overheden minder vervoersaanbod beschikbaar is. 3D- en 4D-systemen en geavanceerde communicatietechnologieën kunnen evenwel de extra vraag opvangen, vooral voor goederenverkeer. De flexibele mogelijkheden naar indeling in het lightconcept kunnen aanleiding geven tot het ontstaan van 'dedicated lanes' of 'hot lanes' die betalend zijn (via privaatgerregelde vervoerssystemen) en daardoor de capaciteit van het systeem gaan onderbenutten.</p>
	<p>De mobiliteitsbehoefte is hoog doch er wordt sterk ingezet op MaaS en Laas. Modulair transport vergt een flexibel en uitbreidbare vervoersinfrastructuur. Er is een sterke overheidsregulering, o.a. via een systeem van (dure) licenties voor verkeer van personen en goederen. De flexibiliteit van het lightalternatief past in deze wereld. De grenzen van de capaciteit van de lightalternatieven worden echter sneller bereikt zodat er een grote vraag is om bijkomende capaciteit te voorzien voor nieuwe vervoerswijzen. De overheid neemt hierin zijn regisseurs- en beheersrol op zodat MaaS en Laas nog verder versnellen.</p>
	<p>Capaciteit is geen doorslaggevende factor. Er is minder piekverkeer door het afgenomen belang van pendelstromen (minder verkeer en kortere afstanden). Ook de rijnsnelheid primeert niet meer (belang Just-in-time leveringen verzwakt). Het beperkter doorgaand verkeer wordt gemengd met het overige verkeer op R0. Er zijn meer korte lokale verplaatsingen, kris-kras in alle richtingen. Een goede sturing en connectiviteit zijn noodzakelijk. Het eventueel afkoppelen van lokale aansluitingen is een nadeel. De beschikbare ruimte langs de R0 wordt gebruikt om zowel aan stadsontwikkeling als aan natuurversterking te doen.</p>

6.1.2. Alternatievengroep Parallel



	<p>Omdat er minder fysieke verplaatsingen zijn, is er minder nood aan een systeem met een grotere capaciteit. Een beperkte sturing (vanwege de overheid) betekent ook dat complexe structuren zoals een parallelsysteem minder goed beheerd worden, ook al wordt sterk ingezet op digitale sturing. Het beheer en onderhoud van de (rest-)ruimte tussen de verschillende wegen wordt als een grote last ervaren.</p>
	<p>Door hun groei is er meer verkeer tussen en rondom de grote steden. Er is nood aan meer en ook snellere verplaatsingen. Dit motiveert de nood aan vlotte doorgaande wegen tussen en rondom grote steden. De scheiding van de doorgaande weg en de parallelle wegen biedt veel kansen voor grote internationale spelers om hun supergrid uit te bouwen waarbij reïssnelheid, betrouwbaarheid en comfort voorop staan. Verknopen met andere vervoerswijzen gebeurt aan private, verticale overstap/overslagturbines.</p>
	<p>Er is een hoge mobiliteitsbehoefte en er zijn veel en verre persoonlijke verplaatsingen. Het parallelsysteem en de scheiding van doorgaand en lokaal verkeer vormt het kader waarbinnen nieuwe geconnecteerde systemen kunnen worden ingevoerd met een voldoende hoge capaciteit. Er is echter nood aan een dynamische en flexibele infrastructuur opgebouwd rond hubs en slim geconnecteerde systemen met maximale interoperabiliteit.</p>
	<p>Er is een grote behoefte aan collectief; kleinschalig vervoer. De parallelstructuur wordt als overcapaciteit beschouwd. De hogere onderhoudskosten worden als problematisch ervaren. Een snelle doorgaande weg rondom de stad biedt geen meerwaarde. De sterkere barrièrewerking en het grotere ruimtebeslag hinderen een duurzame stadsontwikkeling, de uitbouw van de lokale ecologische landbouw en de versterking van de ecologische kwaliteit.</p>

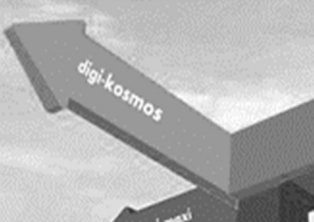

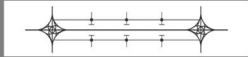
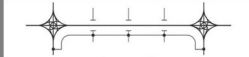
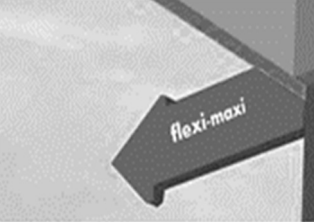
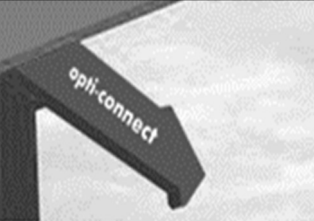


6.1.3. Alternatievengroep Lateraal



	<p>In deze wereld is er voor het personenvervoer slechts een beperkte behoefte aan combimobiliteit. De laterale weg wordt ingevuld als een opeenvolging van logistieke hubs en vrachtwagenparkings. De lage belevingskwaliteit van het openbaar domein is unimodaal afgestemd op vrachtverkeer. Een beperktere capaciteit van het verkeerssysteem van de R0 is minder problematisch gezien de dalende mobiliteitsvraag.</p>
	<p>De scheiding van de doorgaande weg en de laterale weg biedt kansen voor grote internationale spelers om hun supergrid uit te bouwen waarbij reïssnelheid, betrouwbaarheid en comfort voorop staat. De hoofdweg is een van de hoofdaders van dit Europese grid, terwijl de laterale weg functioneert als een langgerekt transferium met een mix van (micro-)vervoerswijzen en ruimtelijke functies. De beperktere capaciteit van de doorgaande R0 is hierbij een nadeel. Langs de laterale wegen ontstaat een verlinting van randstedelijke diensten en activiteiten met grote impact op het ruimtelijke voorkomen van de stedelijke randzones. Het belang van het openbaar en collectief vervoer neemt af, en daardoor ook de potentie van de laterale weg als multimodale stedelijke boulevard rondom de stad. Een fijnmazig systeem van hubs voor goederenvervoer zal door verschillende private partijen worden opgezet. Ook dit verhoogt de druk op de laterale wegen.</p>
	<p>Er gaat veel aandacht naar conflictloze en comfortabele manieren van verplaatsen. Hubs en slimme geconnecteerde systemen zijn belangrijk. De scheiding van doorgaand en lokaal verkeer blijft een relevante meerwaarde. Het laterale systeem speelt hier maximaal op in en biedt relevante mogelijkheden voor het creëren van hubs en overslagpunten op diverse plaatsen en van verschillende schaalniveaus. Bij vrachtvervoer ligt de nadruk op bundeling van goederen, modulaire transporteenheden en real-time multimodaliteit. Door de laterale wegen en de doorgaande wegen slim te verbinden, kan hier een performant systeem uitgebouwd worden. Er is echter een hoge mobiliteitsvraag, waardoor de infrastructuur vooral efficiënt en voorspelbaar moet zijn. Dit is potentieel een zwak punt voor de laterale wegen die sterker met het stedelijke weefsel verweven zijn en waarlangs de regulering door de overheid moeilijker zal zijn.</p>
	<p>Hoofdweg R0 blijft in gebruik voor (het beperkter) doorgaand verkeer, de laterale weg kan gebruikt worden voor een mix van modi. De lagere capaciteit van het R0-systeem is niet problematisch gezien de afname van het pendelverkeer en de lagere mobiliteitsbehoefte. De grotere vraag naar veelvuldige maar korte verplaatsingen, sluit aan bij het idee van de laterale weg als stedelijke boulevard. Onder maatschappelijke druk worden enkel nog duurzame vervoersmodi toegelaten. Ze zijn collectief en geconnecteerd. Laterale wegen als intermediair tussen snelweg en stad spelen hier op in. Langs de laterale weg ontstaat er een mix van lokale ruimtelijke functies, met gevaar op het verspreid ontwikkelen van kleinschalige lokale centra die bovendien met elkaar en met het stadscentrum gaan concurreren. In deze wereld wordt de laterale weg drager van de Vlaamse verlinting 2.0.</p>

6.2. Key-elements toekomstprojectie

Net zoals bij de analyse van de toekomsttrends, is ook de beoordeling van de alternatieven volgens toekomstwereld op zich onderhevig aan interpretatie en onzekerheid. De synthese in 'key-elements' dient om de evaluatie van de verschillende alternatieven scherper te stellen door op zoek te gaan naar de meest essentiële verschillen tussen de alternatieven. Per alternatief worden de meest prominente pro's of contra's uitgelicht. Dit type van beoordeling focust op relevant onderscheid tussen de alternatieven, waarbij de individuele beoordeling per alternatief ondersteund wordt door een meer relatieve onderlinge afweging tussen de verschillende alternatieven.

	LIGHT	PARALLEL	LATERAAL
			
	Minder fysieke verplaatsingen is in overeenstemming met het concept van een lichtalternatief voor de toekomstige RO.	Ten gevolge van de verminderde mobiliteitsvraag zullen de omvangrijkere infrastructuur en verharde oppervlakte minder efficiënt benut worden	Laterale weg biedt mogelijkheden voor inplanting van verdeelpunten en afwerkingsbedrijven
	Ruimte langs RO beschikbaar voor grote logistieke hubs rondom de RO	Meer mogelijkheden voor combinatie van klassieke verkeersinfrastructuur met nieuwe innovatieve structuren zoals luchtcorridors	Laterale wegen moeilijker aan te passen aan nieuwe innovatieve vervoerswijzen
	De grenzen van de capaciteit van de RO worden sneller bereikt	Het parallelsysteem vormt het kader waarbinnen nieuwe geconnecteerde systemen kunnen worden ingevoerd met een voldoende hoge capaciteit	Het laterale systeem biedt relevante mogelijkheden voor het creëren van een gelaagd systeem van hubs en overslagpunten
	De beschikbare ruimte langs de RO wordt gebruikt voor stadsontwikkeling en natuurversterking	De sterkere barrièrewerking hindert lokale stadsontwikkeling	Langsheen de laterale weg ontstaat er een mix van lokale activiteiten

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Meer en meer groeit het besef dat belangrijke infrastructuur voor een lange periode de maatschappij moet dienen, waardoor ook een meer duurzame samenleving ontstaat. Vandaar dat ontwerpers, bouwers, beheerders en exploitanten mogelijke toekomstige uitdagingen voor hun infrastructuurprojecten mee in overweging moeten nemen bij de planning en het ontwerp van infrastructuren. Om dit te bereiken, is in het kader van het geïntegreerd planningsproces voor de R0-Noord een future-proofverkenning uitgevoerd. Een future-proofonderzoek steunt op een confrontatie tussen de gekende eigenschappen van een plan of een project versus de onzekere evoluties van de omgeving of de context.

Voor een dergelijk onderzoek bestaat geen standaard methodiek. Maar het is wel duidelijk dat er enerzijds aannames gemaakt moeten worden omtrent toekomstscenario's en anderzijds criteria gedefinieerd moeten worden om tot een analyse en afweging te komen. Daarom baseert de future-proofverkenning zich deels op het lopende toekomstverkenning onderzoek naar "mobiliteit in de toekomst" (tijdsvenster 2050). Deze studie werd medio 2019 opgestart door het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse overheid. Binnen deze studie wordt het future-proofonderzoek voor de R0-Noord als case study geïntegreerd. In functie van dit onderzoek, hebben De Werkvennootschap, de THV MoVeRO, het Departement Omgeving en Tomorrowlab expertendialogen georganiseerd. Op deze workshops werden experts uit diverse sectoren en beleidsdomeinen samengebracht om op een interactieve manier te debatteren over future-proofaspecten van de R0-Noord.

Op basis van de expertendialogen, aangevuld met een literatuurstudie, werden drie relevante trends en ontwikkelingen geselecteerd waarop de future-proofverkenning voor de R0-Noord zich focust: de klimaatverandering, het doorbreken van autonome vervoerssystemen en de evolutie van personen- en goederenvervoer naar een dienst. Tevens werden de criteria voor de beoordeling gedefinieerd. Er wordt gefocust op de robuustheid en de flexibiliteit. Deze invalshoek werd uitgewerkt in een eerste onderzoeksmethodiek, omschreven als een 'stresstest'. Het '**stresstesten**' van de R0-Noord bestaat uit een evaluatie van de manier waarop de verkeersinfrastructuur van de Ring beter of slechter gaat functioneren indien de geselecteerde trends of evoluties zich sterk zouden doorzetten. Een tweede onderzoeksmethodiek is de '**toekomstprojectie**'. De oefening bestaat eruit na te gaan of en hoe de alternatieven voor de herinrichting van de R0 ingepast kunnen worden in verschillende toekomstwerelden. Voor deze oefening wordt gebruik gemaakt van de 4 mogelijke toekomstwerelden zoals opgebouwd in de toekomstverkenning 'Mobiliteit in de toekomst'.

Het onderwerp van de evaluatie zijn de drie alternatievengroepen die worden voorgesteld voor de herinrichting van de R0-Noord: respectievelijk de alternatieven light, parallel en lateraal. Vertrekkende van de onderscheidende kenmerken tussen deze drie alternatievengroepen, wordt een inschatting gemaakt van het 'future-proofgehalte' per alternatief, zowel op basis van de stresstest als op basis van de toekomstprojectie.

De stresstest beoordeelt de alternatievengroepen in het licht van de verwachte trends en ontwikkelingen op het gebied van klimaatverandering, autonome vervoerssystemen en de introductie van MaaS- en Laas-concepten.

1. De light-alternatieven blijken in grote mate flexibel en robuust te zijn op het gebied van klimaatadaptatie en de introductie van autonome vervoerssystemen. De compacte 'klassieke' verkeersinfrastructuur houdt meer ruimte vrij voor creatie van hubs nabij aansluitingscomplexen en verkeerwisselaars wat de uitbouw van MaaS-systemen beter faciliteert.
2. Een parallelsysteem biedt ook interessante perspectieven in het licht van toekomstige trends en ontwikkelingen op het gebied van autonome vervoerssystemen en mobiliteitsdiensten. Het heeft als nadeel dat het te sterk afgestemd is op de huidige mobiliteitsproblemen op de R0-Noord en daarom als een minder flexibel systeem beschouwd wordt in transitieperiodes naar nieuwe vervoerswijzen. Meer verharde oppervlakte is echter nadelig voor het beheersen van klimaatveranderingen op het gebied van hitte en neerslag.
3. Het laterale systeem scoort goed op het gebied van de verschuiving van een mobiliteitsaanbod naar het aanbieden van mobiliteitsdiensten, zowel voor personenvervoer als goederenvervoer. Het systeem lijkt echter minder flexibel en klimaatrobuust.

Projecteren we de drie alternatieven in de opgebouwde toekomstwerelden, dan is de conclusie minder eenduidig. Afhankelijk van de mogelijke toekomstwereld, scoort een alternatief beter of slechter. Er is geen alternatief te selecteren dat op zich optimaal functioneert in alle mogelijke toekomstwerelden. Als algemene conclusie kunnen we stellen dat elk alternatief specifieke kenmerken heeft om als robuust en/of flexibel beschouwd te worden in toekomstige werelden waarin de geselecteerde trends en ontwikkelingen zich sterk zouden doorzetten. Een analoge conclusie geldt voor de werking of de aanpasbaarheid van de alternatieven in de verschillende mogelijke toekomstwerelden. Het is vooral kwestie vanuit deze oefening een aantal duidelijke aandachtspunten te selecteren die verder onderzoek vergen of waarmee verschillende alternatieven rekening moeten houden.

1. De light-groep beantwoordt het best aan scenario's waarbij er minder verplaatsingen zijn, zoals verbeeld in de toekomstwerelden digi-kosmos of bewust-lokaal. In andere werelden worden de grenzen van de capaciteit sneller bereikt. In de werelden waarin een groot belang gehecht wordt aan maatschappelijke meerwaarde, wordt de vrije ruimte langs de R0 aangewend voor de ontwikkeling van multimodale hubs voor personen of goederen of voor lokale stads- en natuurontwikkeling.
2. De parallelgroep biedt vooral ontwikkelingskansen in toekomstwerelden waarin er veel verplaatsingen zijn en verschillende systemen snel en flexibel gebruikt moeten kunnen worden. De flexibiliteit om in te spelen op toekomstige vervoerssystemen kan echter in vraag gesteld worden, met name in transitieperiodes.
3. Het laterale systeem lijkt innovatie in vervoerswijzen te bemoeilijken doch biedt de meeste mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkelingen gekoppeld aan multimodale overslag/overstappunten. In de werelden met een lagere mobiliteitsvraag evolueren de laterale wegen naar stedelijke of lokale ontwikkelingsassen waarbij gevaar op nieuwe vormen van verlinting ontstaat.

Afsluitend blijkt het ook nuttig deze future-proofverkenning vanuit een andere invalshoek te bekijken: op welke manier kan de R0-Noord toekomstige ontwikkelingen op het gebied van nieuwe technologieën en nieuwe vervoersdiensten stimuleren? Dit hangt samen met de visie, dat de transportinfrastructuur zal bepalen hoe de omgeving in de toekomst zal evolueren en niet andersom. Deze visie kadert in het concept van de Transit-Oriented Development (TOD), een openbaar vervoer- en ruimtelijke ordening-concept waarbij infrastructuur en ruimtelijke inrichting op het gebied van zowel planvorming, financiering en exploitatie geïntegreerd worden aangepakt. Samen met de conclusies van deze oefening zal deze andere invalshoek als uitgangspunt dienen voor verder onderzoek rond het future-proofthema in de vervolgstappen van het geïntegreerd planningsproces.

Bijlage 1 - Deelnemers expertendialogen

16 januari 2020

Jan Adriaenssens, Jeroen Baeten, Paul Coomans, Alain Cox, Nele Degraeuwe, Bart Devoldere, Valère Donné, Marleen Govaerts, Sarah Hollander, Mark Keppens, Peter Lagey, Dorothy Mingneau, Stef Proost, Kristof Rombaut, Patrick Roothaer, Dieter Scheltjens, Peter Van Der Perre, Veerle Van Hassel, Dieter Van Hassel, Frank Vanden Bulcke, Eva Vercamst, Bart Verhulst

13 februari 2020

Jeroen Baeten, Elke Bossaert, Pascal Cappelmans, Alain Cox, Nele Degraeuwe, Bart Devoldere, Jo Discart, Marleen Govaerts, Sigert Hellinckx, Mark Keppens, Peter Lagey, Dorothy Migneau, Stef Proost, Patrick Roothaer, Barbara Sandra, Chris Tampere, Sofie Troch, René Van der Iecq, Veerle Van Hassel, Frank Vanden Bulcke, Eva Vercamst, Bart Verhulst

11 juni 2020

Jeroen Baeten, Elke Bossaert, Alain Cox, Heleen De Bock, Bart Devoldere, Koos Fransen, Marleen Govaerts, Sigert Hellinckx, Mark Keppens, Peter Lagey, Sven Maerivoet, Dorothy Mingneau, Stef Proost, Kristof Rombaut, Patrick Roothaer, Chris Tampere, Sofie Troch, Cédric Vaast, Veerle Van Hassel, Frank Vanden Bulcke, Eva Vercamst, Marijke Verhavert

Bijlage 2 - Referenties

Arup Foresight + Research + Innovation, Future of Highways, 2014

Alonso Raposo, M. (Ed.), Ciuffo, B. (Ed.), Ardente, F., Aurambout, J-P., Baldini, G., Braun, R., Christidis, P., Christodoulou, A., Duboz, A., Felici, S., Ferragut, J., Georgakaki, A., Gkoumas, K., Grosso, M., Iglesias, M., Julea, A., Krause, J., Martens, B., Mathieux, F., Menzel, G., Mondello, S., Navajas Cawood, E., Pekár, F., Raileanu, I-C., Scholz, H., Tamba, M., Tsakalidis, A., van Balen, M., Vandecasteele, I., The future of road transport - Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility, EUR 29748 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-03409-4, doi:10.2760/9247, JRC116644

Masood, McFarlane, Parlikad et al.: Towards the future-proofing of UK infrastructure

Multimodal Optimiser of Roadspace in Europe (MORE), D3.2 Future road users' needs, september 2018

<http://futuremobilityfinland.fi/vision/mobility-as-a-service>

2getthere, whitepaper 'Wanneer wordt autonoom vervoer werkelijkheid?', november 2017

Futureproof onderzoek Loop 2



**Vlaamse
overheid**



DE WERKVENNOOTSCHAP

**DEPARTEMENT
OMGEVING**



Medegefinancierd door de Europese Unie
Trans-Europees vervoersnetwerk (TEN-T)



Inhoud

1.	Inleiding: Uitgangspunten van de Future-Proofverkenning Loop 2	4
1.1.	Relevante trends en ontwikkelingen	4
1.2.	Ruimtelijke vertaling: TRANSVER.....	5
1.3.	De verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden en omgeving als case-study voor de future-proofverkenning Loop 2	7
2.	Trend: Autonome vervoerssystemen breken volledig door.....	8
2.1.	Kader: Implicaties van zelfrijdende voertuigen op het wegenisontwerp.....	9
2.2.	TRANSVER-concepten en principes	11
2.3.	Toepassing R0-Noord.....	13
2.4.	Future-proofstrategieën autonome vervoerssystemen	17
3.	Trend: De klimaatverandering zet zich door	18
3.1.	Kader: Het klimaatportaal	19
3.2.	TRANSVER-concepten en principes	24
3.3.	Klimaatverandering: adaptatie vs mitigatie	27
3.4.	Toepassing R0-Noord.....	28
3.4.1.	Klimaatadaptatie – Hittestress.....	28
3.4.2.	Klimaatadaptatie – Waterhuishouding.....	33
3.4.3.	Klimaatmitigatie.....	35
3.5.	Future-proofstrategieën klimaatadaptatie en -mitigatie	37
4.	Trend: MaaS en fysieke internet worden standaard marktmodellen	38
4.1.	Kader: Mobiliteitshubs als cruciale schakels in de Smart Mobility van morgen.....	39
4.2.	TRANSVER-concepten en principes	40
4.3.	Toepassing R0-Noord.....	42
4.4.	Future-proofstrategieën multimodale hubs.....	44
5.	Wrap-up	45
5.1.	Future-proofverBEELDingEN.....	45
5.2.	Future-proof Toolbox	49
6.	Conclusies en aanbevelingen	50
7.	Future Proofverkenning VoCAV	52
Bijlage 1	Literatuurlijst	53
Bijlage 2	Opbouw hittestressmodel.....	54
1.	Data en methode.....	55
2.	Resultaten en bespreking	58
3.	Conclusie.....	62

1. INLEIDING: UITGANGSPUNTEN VAN DE FUTURE-PROOFVERKENNING LOOP 2

1.1. Relevante trends en ontwikkelingen

De future-proofverkenning Loop 2 bouwt verder op de drie meest relevante trends en ontwikkelingen die in de future-proofverkenning Loop 1 werden geselecteerd: klimaatwijziging, nieuwe technologieën en connectiviteit en slimme, geïntegreerde mobiliteit. Deze werden gekozen omdat blijkt dat ze op zowel globaal, Europees als Vlaams niveau relevant zijn en tevens omdat er uit deze trends relatief concrete en goed te omschrijven veranderingen kunnen afgeleid worden. Bovendien zijn het trends waarover er een relatief grote consensus bestaat dat ze zich ook effectief zullen doorzetten; ze hebben dus een grote mate van zekerheid. Toch moet rekening gehouden worden met onzekerheden.

Autonome vervoerssystemen



Door de exponentiële technologische evolutie zal zowel op het gebied van voertuigtechnologie als infrastructuur het functioneren van de R0-Noord sterk beïnvloed worden. Denken we hierbij aan energie-efficiëntere voertuigen, zelfherstellende materialen, batterijtechnologie, communicerende en zelfrijdende voertuigen, drones. Maar ook aan de automatisering en robotisering in de aanleg, het onderhoud en het beheer van infrastructuren en kunstwerken.

Klimaatwijziging zet zich door



Er is de algemene verwachting dat de R0-Noord in de toekomst zal blootgesteld worden aan meer extreme weersomstandigheden, zowel in frequentie als intensiteit (temperatuurverandering, stormen, stijging van zeeniveau, ...). Dit zal een impact hebben op ontwerp, bouw, gebruik en onderhoud van de R0-Noord, zoals wegdekbeschadigingen door extremere temperaturen, het overschrijden van de afwateringscapaciteit van de infrastructuur door hevige neerslag en de daarmee gepaard gaande overstromingen. Extreme weersomstandigheden kunnen in extreme situaties leiden tot (volledige of gedeeltelijke) tijdelijke onbeschikbaarheid van de R0-Noord als verkeerssysteem.

MaaS en LaaS: Slimme en geïntegreerde mobiliteit



Door de technologische evolutie en menselijke gedragsverandering zullen de verplaatsingen op de R0-Noord een onderdeel zijn van een combimodaal transportsysteem waarbij naadloos wordt overgestapt van de ene op de andere modus. Hiertoe worden multimodale hubs of hoppinpunten uitgerust en digitaal gestuurd door MaaS (Mobility-as-a-Service) en LaaS (Logistics as a Service) -systemen. Evoluties in communicatietechnologie zullen toelaten om op een intelligentere wijze de capaciteit van de R0-Noord te benutten. Denken we hierbij aan Big Data, het Fysieke Internet (Internet of Things, afgekort IoT¹), blockchaintechnologie en ook het inzetten van financiële instrumenten die zullen toelaten onze verplaatsingen anders te organiseren.

1.2. Ruimtelijke vertaling: TRANSVER

Door interdisciplinair na te denken over de transformatiemogelijkheden van de Vlaamse infrastructuur, kan men bijdragen aan een kwalitatieve leefomgeving met oog voor mens, dier en klimaat. Deze mogelijkheden werden beleidsmatig verkend en verbeeld in TRANSVER, uitgevoerd door NEXT Architects in opdracht van het Departement Omgeving van de Vlaamse overheid. De verbeelding van de mogelijke transformaties van de infrastructuur heeft het jaar 2050 als horizon.

Het idee van het transformeren van verkeersinfrastructuur is in het verleden naar de achtergrond verschoven ten voordele van de bouw van meer nieuwe infrastructuur voor nieuwe vervoersvormen. Dit gaat vaak gepaard met een bijkomend ruimtebeslag. De hoge bebouwingsgraad en ruimtelijke versnippering in Vlaanderen maakt de bouw van nieuwe infrastructuur echter minder en minder evident. De maatschappij is meer belang gaan hechten aan zaken als gezondheid, klimaat, veiligheid en kwalitatieve (publieke) ruimte. Sloop en onteigeningen stuiten op weerstand wat steeds vaker uitmondt in gerechtelijke procedures.

Beleidsmatig formuleert de Vlaamse regering in het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (BRV) de ambities om het bijkomend ruimtebeslag te beperken en op termijn zelfs te stoppen en om het bestaande ruimtebeslag efficiënter te gaan benutten, om zo de open ruimte beter te vrijwaren. De focus binnen deze ambities ligt vooral op gebouwen. Nochtans bestaat 18% van het ruimtebeslag in Vlaanderen uit transportinfrastructuur, goed voor ongeveer 80.000 hectare! Daarvan wordt dan weer 90% ingenomen door wegen. Dit omvat de rijbanen voor autoverkeer maar ook stoepen, fietspaden, pleinen en parkeerplaatsen.

Om het bestaand ruimtebeslag beter te benutten, introduceert het BRV het begrip 'ruimtelijk rendement'. Om dit te verhogen, formuleert het BRV vier strategieën. TRANSVER past deze toe op de vervoersinfrastructuur.

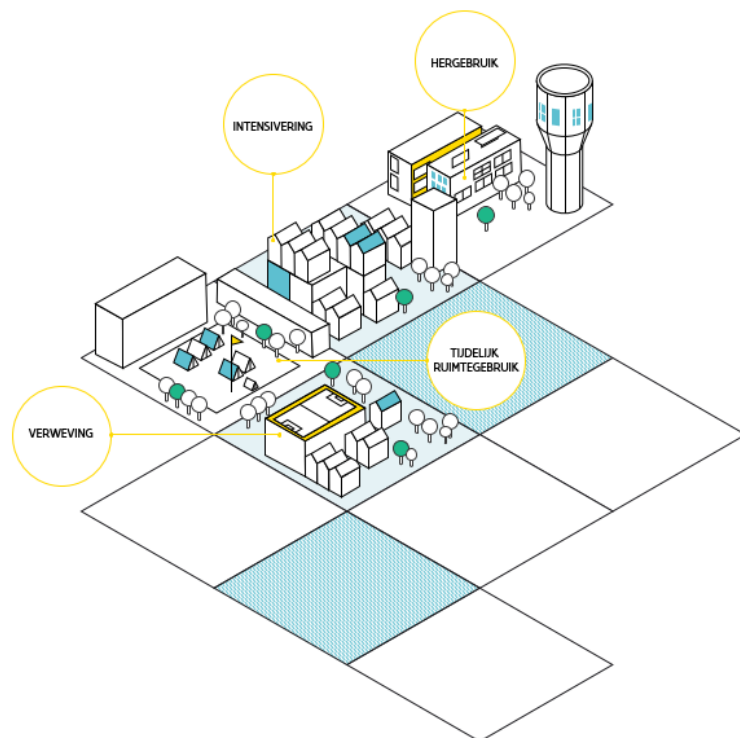
Intensivering gaat over het realiseren van programma's boven of onder infrastructuur of in restruimtes binnen infrastructuur. Hierbij valt op te merken dat er een verband is tussen modaliteitskeuze en ruimtegebruik. Er zijn immers aanzienlijke verschillen tussen de efficiëntie in ruimtegebruik van de verschillende vervoerswijzen. De keuze voor tram of fiets betekent bijvoorbeeld dat het aantal verplaatsingen per vierkante meter ruimte-inname groter wordt.

Verweving betekent de vervoersinfrastructuur ook inzetten voor andere functies. Zo kan door een aangepaste materialisatie de verkeersinfrastructuur ook een rol spelen in het kader van biodiversiteit en klimaatregulering.

Hergebruik is het geven van een nieuwe functie aan in onbruik geraakte onderdelen van de verkeersinfrastructuur. Door hierop te anticiperen kan het aansnijden van nieuwe uitbreidingslocaties vermeden worden. Hergebruik kan bekeken worden vanuit stedelijke ontwikkeling maar ook i.f.v. het versterken van de groene (publieke) ruimte.

¹ IoT wordt gedefinieerd als een netwerk van gerelateerde en geconnecteerde objecten die zelfstandig data verzamelen en verspreiden via een draadloos netwerk. (Kaat Vanrenterghem; All you need to know about the Internet of Things)

Bij **tijdelijk gebruik** wordt op bepaalde momenten toegelaten dat de vervoersinfrastructuur voor andere functies en activiteiten gebruikt wordt. Traditionele toepassingen zijn markten en kermissen op straten, pleinen of parkings. Meer recente initiatieven zijn schoolstraten of speelstraten en tijdelijke terrassen voor horeca.



Figuur 1: De vier vormen van ruimtelijk rendement vanuit het BRV

TRANSVER is toekomstgericht en exploratief. De studie maakt gebruik van beschikbare trendanalyses en scenario-onderzoeken. De vervoersinfrastructuur zal er over 50 jaar immers ongetwijfeld anders uitzien omdat de mobiliteit vandaag onderhevig is aan heel wat technologische, maatschappelijk en ecologische trends en innovaties. Het zijn de ruimtelijke verschijningsvormen van deze trends en innovaties die toelaten ontwerpmatig op zoek te gaan naar de transformatiemogelijkheden van de verkeersinfrastructuur.

- 1. Demografie: bevolkingsgroei en vergrijzing
- 2. Deelsamenleving
- 3. Gezondheid en (verkeers)veiligheid
- 4. Biodiversiteitsverlies en kwaliteit ecosystemen
- 5. Autonoom rijden
- 6. Elektrificatie
- 7. Smart mobility
- 8. E-commerce
- 9. Nieuwe bouwtechnieken
- 10. Evolutie voertuigenpark

Figuur 2: TRANSVER: trends en drivers

1.3. De verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden en omgeving als case-study voor de future-proofverkenning Loop 2

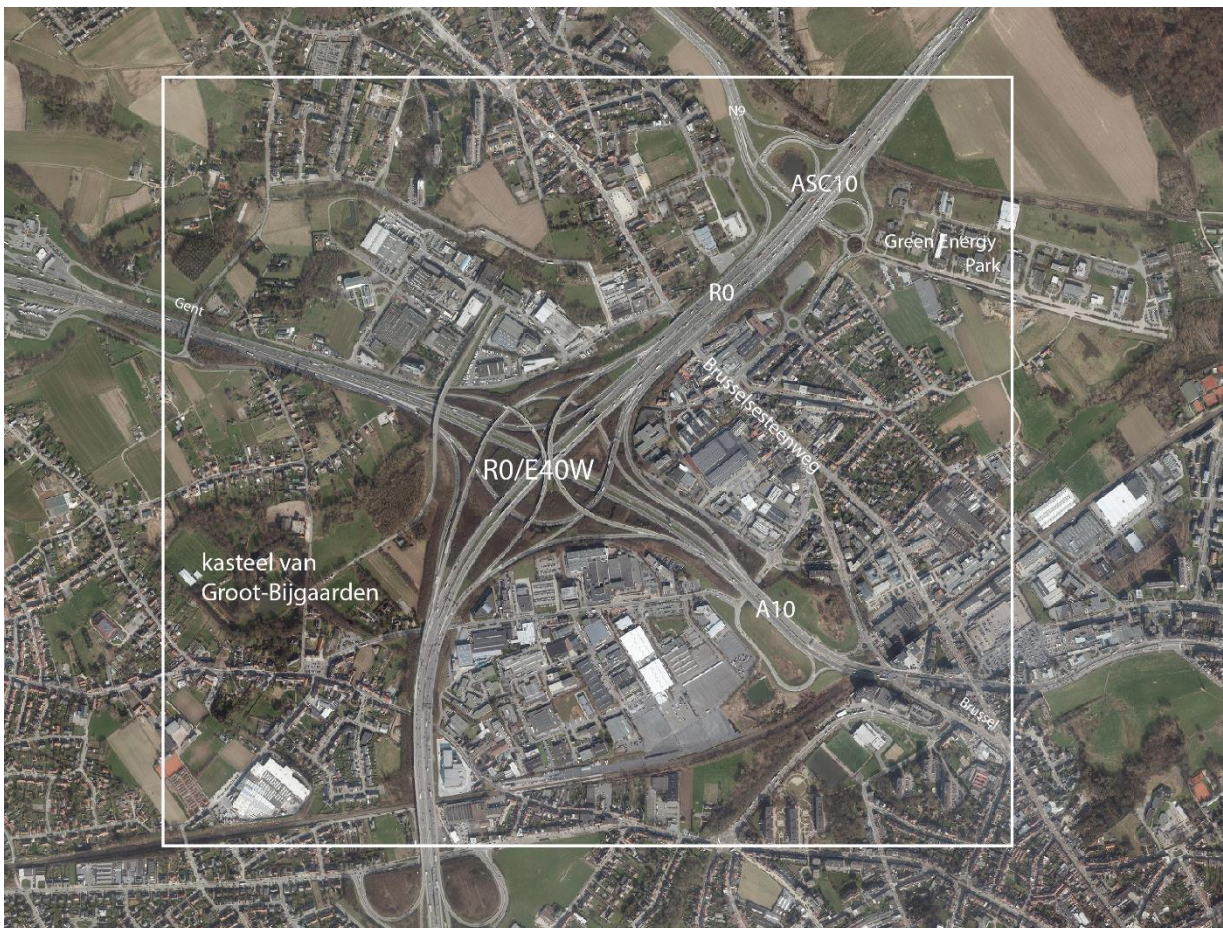
Binnen het projectgebied van de R0-Noord wordt de omgeving van de verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden, als case study genomen. De resultaten van deze case-study zijn representatief voor het volledige plangebied van de R0-Noord.

Het plangebied van het GPP R0-Noord wordt onderverdeeld in drie zones: Wemmel, Vilvoorde en Zaventem. De verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden en omgeving is onderdeel van de zone Wemmel. In deze zone slingert de R0-Noord over de oostwest georiënteerde heuvelkam, die de waterscheiding vormt tussen de Maalbeekvallei ten noorden en de Molenbeekvallei ten zuiden. De waterlopen, de Maalbeek en de Haverbeek, zitten vandaag grotendeels verstopt in kokers.

Rond de verkeerswisselaar R0/E40W bevinden zich bedrijvenzones, aansluitend op een aantal landschappelijke restfragmenten. Net voorbij deze knoop, ten oosten van het ASC 10 (Zellik), bevindt zich een researchpark (Green Energy Park). De Brusselsesteenweg loopt onder de R0-Noord door. Deze as verbindt boven-Zellik met beneden-Zellik, en brengt druk autoverkeer en sluipverkeer met zich mee.

Ten zuidwesten van de verkeerswisselaar is er een open gebied, waar het kasteeldomein van Groot-Bijgaarden een typerende landschappelijke identiteit aan geeft.

De relevante trends en ontwikkelingen, die verder worden toegelicht in de nota, zijn ook toepasbaar op de overige deelzones van het projectgebied R0-Noord.



Figuur 3: Situering case-study future-proofverkenning Loop 2

2. TREND: AUTONOME VERVOERSYSTEMEN BREKEN VOLLEDIG DOOR

In 2050 cars the cars we drive are likely to run without fossil fuels and may not even require us to take the controls.

(GM/Newspress)



2.1. Kader: Implicaties van zelfrijdende voertuigen op het wegenontwerp

Bronnen:

TNO – Royal Haskoning DHV i.o.v. Kennisplatform CROW en Rijkswaterstaat, WVL; Rapport zelfrijdende auto's – Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen, 03/Finale versie; 2016

City Science Corporation: Roads for the future – Dedicated driverless spaces, 2018

De verwachtingen omtrent de ontwikkelingen in automatiseringsniveaus worden regelmatig bijgesteld. Een substantiële vraag is op welke termijn de volledig autonoom rijdende voertuigen (de zogenaamde 'level 5' voertuigen) volledig geïmplementeerd zullen zijn. Een voorzichtige doch realistische inschatting stelt 2075 voorop als jaar waarin het rijden volledig geautomatiseerd zal verlopen². Op de vraag wanneer het rijden of verplaatsen volledig geautomatiseerd zal zijn, gaat deze future-proofverkenning niet verder in. Wat wel behandeld wordt, is welke consequenties de automatisatie van het wagenpark kan hebben op het infrastructuurontwerp en op de daarmee samenhangende ruimtelijke kenmerken van de infrastructuur en haar omgeving.

Op de lange termijn zullen veel aanpassingen aan het wegontwerp nodig en wenselijk zijn. Maar op korte en middellange termijn zal er niet veel veranderd kunnen worden aan het wegontwerp zolang er nog een aandeel niet volledig zelfrijdende voertuigen op de weg is. Dit betekent dat het type van manueel bestuurd voertuigen nog voor lange tijd het uitgangspunt zal zijn voor het ontwerp van de weginfrastructuur. Voor de korte en middellange termijn zal de focus daarom meer liggen op omgaan met gemengd verkeer, waarin voertuigen geleidelijk aan steeds meer met elkaar en met de omgeving communiceren.

Los van de vraag naar het termijnperspectief van het volledig geautomatiseerd rijden, is het duidelijk dat er een transitieperiode zal zijn. In deze periode zal er een geleidelijke overgang zijn naar volledig autonome vervoerssystemen en tegelijk dus ook een menging van zelfrijdende en niet zelfrijdende voertuigen. Cruciale vragen hierbij zijn hoe de infrastructuur deze evolutie kan faciliteren en welke 'no regret'-maatregelen vandaag al genomen kunnen worden. De uitdaging vandaag is hoe om te gaan met het gegeven van een wellicht lange transitieperiode waarin zelfrijdende voertuigen en klassiek door de mens bestuurd voertuigen samen op de weg zullen zijn. Globaal genomen kunnen twee scenario's vooropgesteld worden. In het eerste scenario wordt de infrastructuur niet aangepast en zullen zelfrijdende voertuigen gebruik maken van de bestaande 'klassieke' infrastructuur. Het tweede scenario laat zelfrijdende voertuigen enkel toe op aangepaste infrastructuur, waarbij voertuigen schakelen tussen autonoom rijden en bestuurd worden, al naargelang het type van infrastructuur. Dit laatste resulteert in een gescheiden netwerk waarin de interactie tussen zelfrijdende en niet-zelfrijdende voertuigen beperkt wordt. Dit is het concept van de 'dedicated driverless spaces': duidelijk afgebakende zones waarin enkel zelfrijdende voertuigen worden toegelaten. Deze zones kunnen op een statische of een dynamische manier worden afgebakend. Een dynamische indeling kan zelfs leiden tot het geven van voorrang aan de doorstroming van zelfrijdende voertuigen, bijvoorbeeld tijdens congestie of spits.

Een mogelijke tussenoplossing maakt gebruik van het geo-fence idee. Het autonoom rijden wordt dan beperkt toegelaten op bepaalde segmenten of in bepaalde zones, naargelang de omstandigheden. Dit gebeurt via geodata die rechtstreeks of via een dynamisch verkeersmanagementsysteem naar het voertuig gestuurd worden. Voertuiggebruikers worden continu verwittigd wanneer er autonoom gereden kan worden en wanneer niet.

Volledig autonoom rijden: ingrijpende gevolgen voor het wegontwerp en de omgeving

In de situatie waarin alle voertuigen volledig autonoom zelfrijdend zijn, waarbij alle voertuigen zowel onderling als met de omgeving (de wegkant) communiceren, kan het wegontwerp op verschillende niveaus structureel aangepast worden. Voor de verschillende ontwerpparameters worden volgende evoluties vooropgesteld:

- Verkeersborden en verschillende types van wegaanhorigheden worden overbodig. Door on-board data kennen voertuigen overal zowel de weg als de omgeving. Op basis van deze data en door onderlinge

² TNO – Royal Haskoning DHV i.o.v. Kennisplatform CROW en Rijkswaterstaat, WVL; Rapport zelfrijdende auto's – Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen, 03/Finale versie; 2016

communicatie bepalen voertuigen zelf de optimale snelheid. Dit kan doorwerken in het ruimtebeslag omdat er minder of geen extra plaats nodig is voor portieken, signalisatie e.d.m.

- Bochtstralen kunnen minder ruim uitgevoerd worden. Het comfortniveau van de inzittende legt evenwel limieten op.
- In- en uitvoegstroken kunnen korter. Hetzelfde geldt voor weefstroken. Hier wordt nog voorbehoud bij gemaakt, met name bij het gemak waarmee zelfrijdende voertuigen vlot en veilig weefbewegingen zullen kunnen uitvoeren. Een goede onderlinge communicatie tussen voertuigen is noodzakelijk. Mogelijk blijft een zekere mate van fysieke scheiding tussen verkeersstromen noodzakelijk.
- Benodigde zichtlengtes i.f.v. veiligheid worden korter. Ze worden niet langer bepaald door de fysieke kenmerken van de mens maar door de technologische vereisten van het voertuig.
- Een zelfrijdend voertuig is beter in staat om een koers perfect aan te houden dan een fysieke bestuurder. Hierdoor kunnen rijstroken smaller worden.
- Het nut van pechstroken neemt af, al zijn technische storingsen nooit uit te sluiten.
- De obstakelvrije zone naast de rijweg kan verkleind of zelfs opgeheven worden. Afhankelijk van het veiligheidsniveau van de toekomstige voertuigen, zullen veiligheidsvoorzieningen langsheen de weg er anders uitzien.
- Door een meer flexibele indeling van de rijbaan, kunnen kruispunten compacter uitgevoerd worden. Dit is van belang bij de aansluitingscomplexen op de Ring.
- Aanwezigheid en intensiteit van wegverlichting gaat een minder prominente rol spelen. Daarentegen neemt het belang van wegmarkeringen en -begrenzingsen toe. Naar alle verwachtingen zullen sensoren die de kenmerken van de weg en de omgeving capteren, een belangrijk onderdeel van zelfrijdende voertuigen blijven. Deze markeringen moeten uniform zijn en in alle omstandigheden waarneembaar en herkenbaar blijven voor het voertuig. Hierbij moet rekening gehouden worden met verschillende omstandigheden bijvoorbeeld op het gebied van licht en weer.

Mix van diverse niveaus van autonoom rijden: beperkte gevolgen voor het wegontwerp en de omgeving

Zolang er een mix van voertuigen is, met verschillende niveaus van autonoom rijden, kan er niet veel aan het wegontwerp gesleuteld worden. Elk wegontwerp zal rekening moeten houden met de actueel van toepassing zijnde normen en richtlijnen voor niet-zelfrijdende voertuigen. Dit belet echter niet om al in te spelen op toekomstige aanpassingen. Een future-proofbenadering betekent dat het wegontwerp de verdere ontwikkeling naar volledig zelfrijdende voertuigen stimuleert en faciliteert.

Een belangrijk punt is het flexibel maken van het wegontwerp. Dit betekent dat het wegontwerp evolueert van een samenstelling van rijstroken met bijhorende weefstroken en invoegstroken, naar een rijvlak dat i.f.v. veranderende omstandigheden dynamisch kan ingedeeld worden. Dit is gebaseerd op de aanname dat de zelfrijdende auto een betere bestuurder is dan de automobilist. Naarmate de graad van autonoom rijden toeneemt, vermindert de noodzaak voor fysieke scheidingen en geleidingen. Een specifiek aandachtspunt hierbij is het scheiden van hoofdrijbanen en parallelrijbanen. De oorspronkelijke doelen van een dergelijk systeem (een betere doorstroming van het doorgaand verkeer, verstoring door in- en uitvoegen beperken tot een gedeelte van de weg, ...) worden minder relevant naarmate voertuigen meer autonoom strategische beslissingen gaan nemen, zoals het automatisch kiezen van de meest optimale plaats op de weg ter hoogte van weefvakken of bij het in- of uitvoegen. Bijkomende mogelijkheden liggen in het invoeren van systemen zoals 'dedicated lanes' of pelotonrijden.

In het eerste geval kan een deel van de weg voorbehouden worden aan zelfrijdende voertuigen. Dit betekent een (niet-fysieke) scheiding in dwarsprofiel. Voordeel hierbij is dat rijstroken voor zelfrijdende voertuigen smaller kunnen zijn dan de klassieke rijstroken. Met name bij bredere wegen kan een capaciteitswinst geboekt worden door binnen dezelfde wegbreedte meer rijstroken in te richten of een ruimtewinst door de effectieve rijbaanbreedte te verkleinen. Aandachtspunt blijft de weefbewegingen in verkeerswisselaars en ter hoogte van op- en afritten, waarbij de zelfrijdende voertuigen de voorbehouden strook moeten verlaten en zich onvermijdelijk zullen mengen met niet-zelfrijdende voertuigen.




Pelotonrijden of konvoorrijden wordt vooral voor goederentransport overwogen (truck platooning). Ook hier kan gedacht worden aan het systeem van voorbehouden rijstroken, al kunnen met een goed gemanaged data- en regelsysteem (tussen de voertuigen onderling en vanuit de voertuigen met de omgeving) ook pelotons of

konvoeien binnen het reguliere verkeer gemengd worden. De uitwisseling ter hoogte van wisselaars en aansluitingscomplexen is hier eveneens een aandachtspunt.

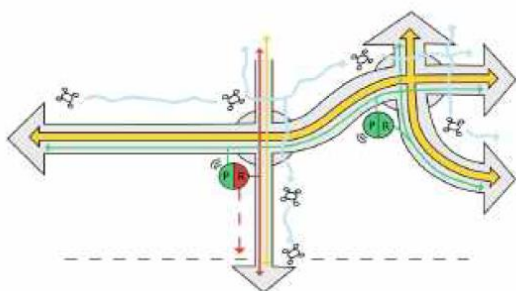
2.2. TRANSVER-concepten en principes

Technologische innovaties op het vlak van autonoom rijden, elektrificatie en digitale connectiviteit doen vandaag hun intrede. Tegelijkertijd zijn er maatschappelijke evoluties: de acceptatie van voertuigen die vervuilen en veel ruimte innemen, neemt af en verschillende vormen van deelmobiliteit en alternatieve vervoersmodi komen op. Door de vele parameters die spelen, is het onzeker hoe en wanneer deze ontwikkelingen ruimtelijk zullen ingebed worden. Maar het is bijna zeker dat de veranderingen kansen bieden om de vervoerscapaciteit te optimaliseren. We gaan met minder ruimte meer verplaatsingen van mensen en goederen kunnen faciliteren. Ruimte die vrijkomt is inzetbaar voor andere functies en het verhogen van de omgevingskwaliteit.

De 'TRANSVER-studie' heeft gebruikt gemaakt van de beschikbare trendanalyses en scenario-onderzoek. Inzake de maximale inzet voor 'autonome vervoerssystemen' zijn de volgende trends zijn terug te vinden:

-  • Autonoom rijden
-  • Elektrificatie
-  • Evolutie voertuigenpark

Slimme continentale verbindingen



Figuur 4: Slimme continentale verbindingen (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

De introductie van autonoom rijden en het gebruik van nieuwe voertuigtypes bieden mogelijkheden om de vervoerscapaciteit van continentale verbindingen³ te optimaliseren. In de transitiefase van een conventioneel naar een autonoom rijdend voertuigenpark is het nodig om via een systeem van toegewezen rijbanen (dedicated lanes) beide systemen tegelijk te faciliteren. Dit biedt vooral voor logistieke stromen de kans om filevrij te rijden.

Het is vooral de sector van de logistiek die versneld naar een geautomatiseerd en congestie-arm systeem kan evolueren. Twee elementen zijn cruciaal om deze evolutie te faciliteren: logistieke omslagpunten en de inzet van het luchtruim⁴.

Logistieke omslagpunten zorgen voor de bevoorrading van steden en regio's. Ze zijn bij voorkeur rechtstreeks toegankelijk vanaf het netwerk van toegewezen rijbanen. Het luchtruim boven continentale verbindingen kan ingezet worden voor drones (om overlast boven private eigendommen te beperken). Daken van hoogbouw zijn geschikt voor het opladen en afleveren van pakketten met drones. Daarnaast is er nood aan specifieke verzorgingsplaatsen, vooral in de meer landelijke gebieden. Het faciliteren van de vervoersstromen vergt een behoedzame stedenbouwkundige aanpak. Het zetten van gebouwen of het creëren van groen- en parkzones bovenop continentale verkeersinfrastructuren kan dit hypothekeren.

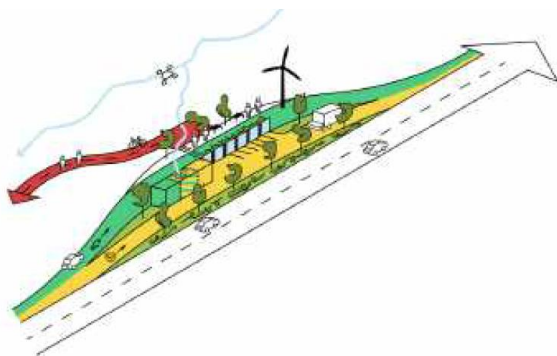
³ De TRANSVER-studie geeft geen definitie van 'continentale verbindingen'. Binnen de future-proofverkenning *Loop 2* beschouwen we het hoofdwegenet bestaande uit de R0-Noord en de aansluitende snelwegen E40 richting Gent, A12, E19 en E40 richting Leuven als overeenstemmend met de continentale verbindingen.

⁴ In dit verband wordt gesproken van Low Altitude Airspace en VTOL-vehicles (VTOL = Vertical Take-Off and Landing).

Concrete concepten:

- Rijbanen toewijzen aan autonoom (goederen) transport.
- Lokale omslagpunten voorzien aan afslag/aansluiting (aansluitingscomplexen).
- Regionale omslagpunten voorzien aan knooppunten (verkeerswisselaars).
- Luchtruim boven grote lijninfrastructuren inzetten als vliegcorridors.

Kwalitatieve verzorgingsplaatsen



Figuur 5: Kwalitatieve verzorgingsplaatsen (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

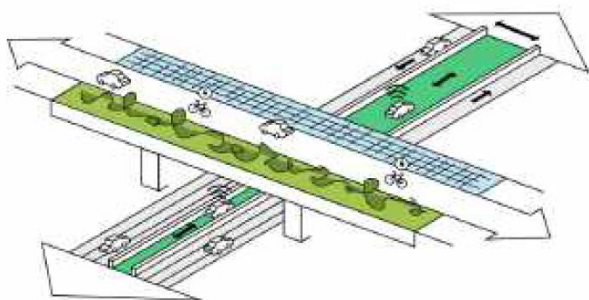
De transformatie van verzorgingsplaatsen beoogt de realisatie van een hoger kwaliteits- en serviceniveau en een betere functionele integratie in de omgeving. De functionele integratie volgt onder andere uit de opkomst van autonome voertuigen en drones waardoor verzorgingsplaatsen ook gaan dienen als omslagpunten en bevoorradingszones. Binnen de routes voor drones is het interessant om omslagpunten naar de omliggende kernen te creëren. De overheid kan omslagpunten uitbouwen i.f.v. een betere mobiliteit, nieuwe energietoepassingen (oplaadmogelijkheden) en een sterkere interactie met de omgeving. Dit kan gecombineerd worden met private middelen van logistieke en dienstverlenende bedrijven voor de verdere uitbouw van service- en omslagpunten.

De locatie van verzorgingsplaatsen moet opnieuw bekeken worden i.f.v. hun nieuwe rol. Nieuwe functies worden bij voorkeur binnen de bestaande oppervlakte gerealiseerd en mogen geen netto bijkomend ruimtebeslag genereren. Omslag mag ook de doorstroming op bovenlokale verbindingen niet hinderen.

Concrete concepten:

- Omslagpunten integreren voor het overladen van goederen en het stockeren van (autonome voertuigen);
- Ruimte voorzien voor commerciële diensten en pakketverdeling;
- Bebossing en/of goederenzones inzetten als buffer tussen autoweg en verblijfsruimte;
- Productie- en consumptiepunten voor duurzame energie integreren;
- Verzorgingspunten via trage wegen verbinden met nabijgelegen kernen;
- Landingspunten voor drones voorzien voor goederenoverslag en commerciële diensten.

Toekomstbestendige lijninfrastructuren en kunstwerken



Figuur 6: Toekomstbestendige lijninfrastructuren en kunstwerken (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

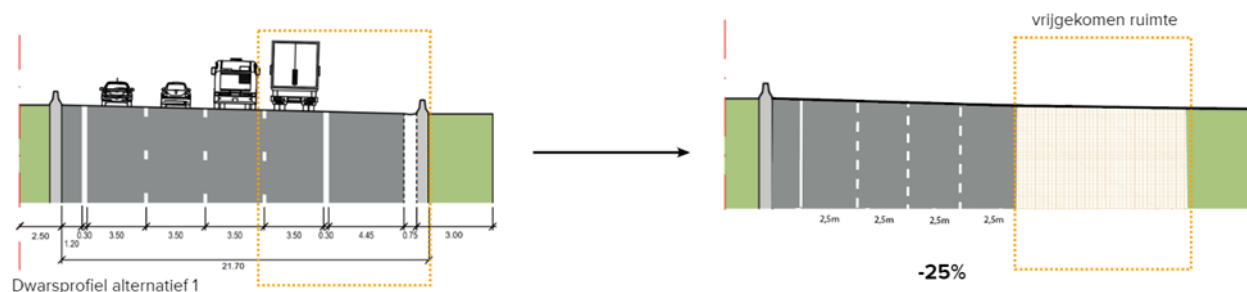
Vervoersinfrastructuur wordt meestal ontworpen met het oog op één type voertuig. Het voertuigenpark zal er in de toekomst echter anders en diverser uitzien. Ontwerpers moeten anticiperen op meerdere scenario's en divers gebruik. De vervoersinfrastructuur is op termijn best flexibel inzetbaar en bestand tegen veranderende omgevingsfactoren zoals de klimaatverandering. Kunstwerken krijgen best een reservecapaciteit met (tijdelijke) groenfunctie. Ze mogen niet de knelpunten van morgen zijn. Toekomstbestendig denken betekent ook durven om onderbenutte onderdelen van de vervoersinfrastructuur te downgraden of terug te geven aan de natuur of de open ruimte.

Concrete concepten:

- Kunstwerken met vrij in te delen dek realiseren, reservecapaciteit gebruiken voor energie of groen;
- Ruimte in berm en voldoende doorrijhoogte voorzien voor plaatsing technologische constructies;
- Kunstwerken zonder middenpijlers realiseren;
- Rijbanen toewijzen aan autonome voertuigen;
- Verplaatsbare afscheidingen realiseren om voertuigenstromen te reguleren.

2.3. Toepassing R0-Noord

Bij zelfrijdende voertuigen kunnen de rijstroken smaller worden aangelegd, hierdoor kan er in dwarsprofiel een ruimtewinst tot 25% geboekt worden. De vrijgekomen ruimte kan ook worden 'teruggegeven' aan de omgeving of ingezet worden voor klimaatadaptatie (zie onder andere het concept van de verkoelingsassen in volgend hoofdstuk). De verdere compactering van de infrastructuur lijkt vooral toepasbaar op de doorgaande segmenten tussen de wisselaars en aansluitingscomplexen. De mogelijke ruimtewinst zit hoofdzakelijk in het versmallen van de rijstroken en het inkorten van de invoegstroken en weefzones. Om de infrastructuur future-proof te maken, is het aangewezen om systemen te bedenken waarbij het verder compacteren van wegsegmenten op een relatief eenvoudige manier gerealiseerd kan worden.

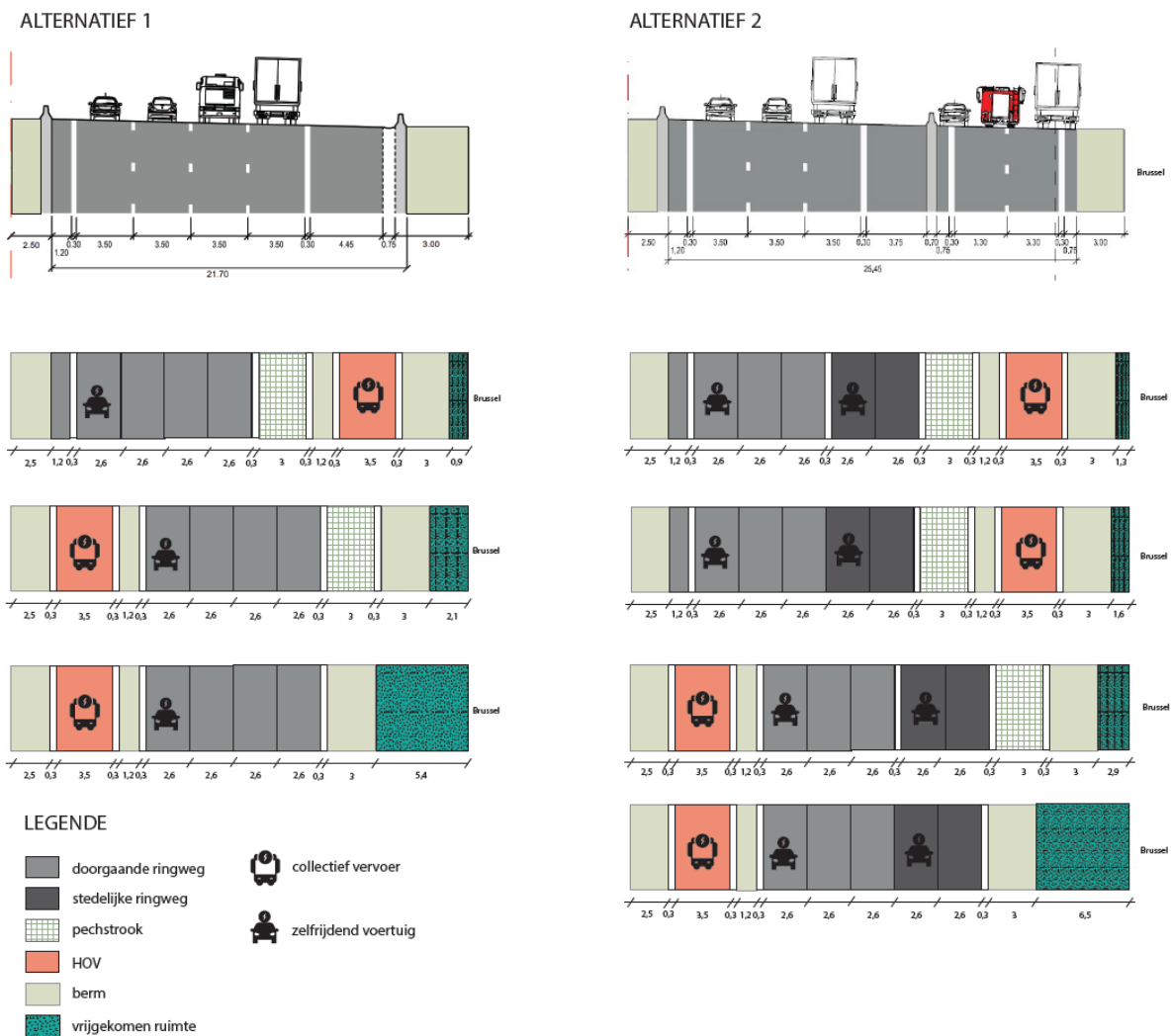


Figuur 7: Compact dwarsprofiel bij invoeren van volledig autonoom rijden

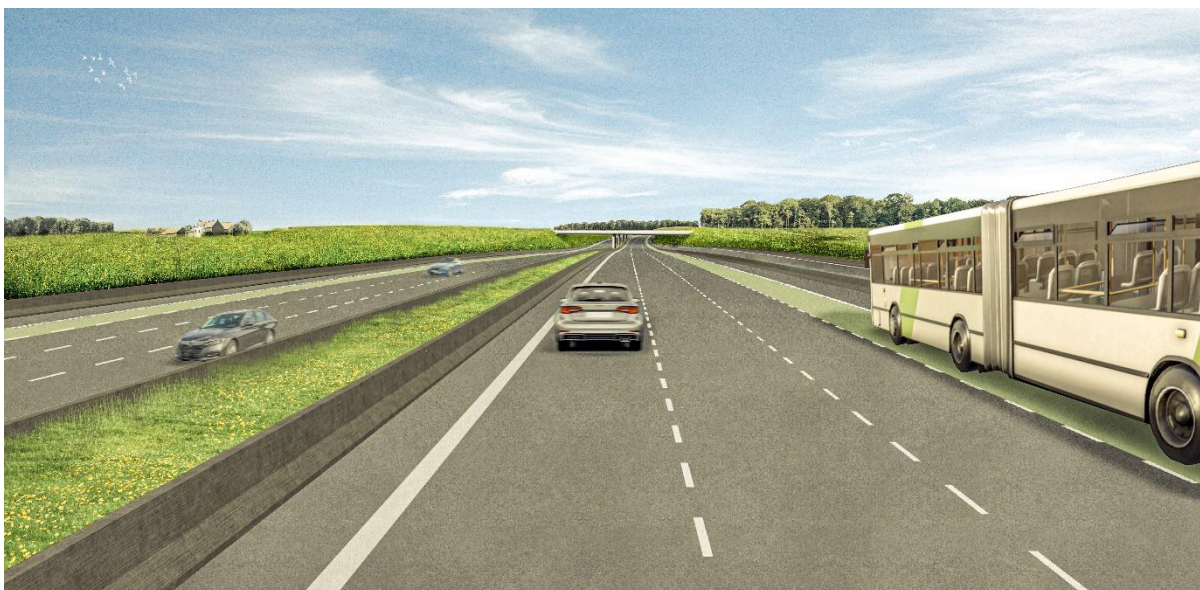
De ruimtewinst gegenereerd door het (volledig) autonoom rijden hoeft niet noodzakelijk terug geïntegreerd te worden in de omgeving. Ze kan ook worden ingezet voor andere doeleinden: 'dedicated lanes' voor de nieuwe

vervoersvormen, het voorzien van omslagpunten of verzorgingspunten of het aanbrengen van consumptie- of productie-elementen voor duurzame energie.

Zoals in de inleiding bij dit thema vermeld, is het aanpassen van de weginfrastructuur aan volledig autonoom of geautomatiseerd rijden wellicht nog voorbarig. Het is wel nuttig om rekening te houden met een geleidelijke evolutie naar autonome vervoerssystemen en de overgangperiode tussen de huidige klassieke vervoerswijzen en de toekomstige autonome systemen. In het kader van het geleidelijk aan doorbreken van geautomatiseerde vervoerssystemen kan het programma op de R0-Noord flexibel worden ontworpen, en ingericht worden al naar gelang de verschillende noden en de veranderende omgevingsfactoren. In dit kader wordt vooral gedacht aan het inrichten van voorbehouden zones of 'dedicated lanes', bijvoorbeeld voor zelfrijdende voertuigen of (deels) geautomatiseerde vormen van collectief vervoer. Een 'high occupancy vehicle' lane kan worden ingericht zowel aan de binnen- of buitenzijde van de infrastructuurbundel.



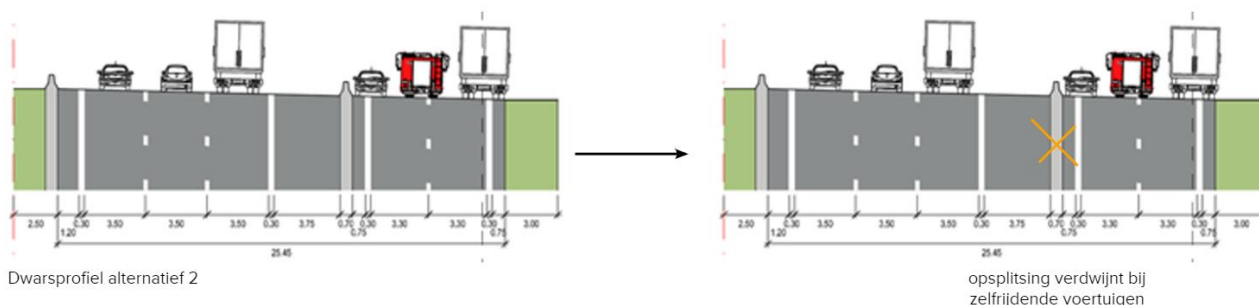
Figuur 8: Schematische weergave van de programmatie van het dwarsprofiel bij geleidelijke transitie naar geautomatiseerde voertuigen



Figuur 9: Visualisatie van de R0-Noord met de inrichting van dedicated lanes voor het openbaar vervoer

Een essentieel element in het kader van het future-proof wegontwerp is het concept van het rijvlak. Dit betekent dat het wegontwerp niet vertrekt vanuit het principe van rijstroken en rijrichtingen maar vanuit een rijvlak dat flexibel ingericht en gebruikt kan worden. Dit houdt onder andere in dat verschillende verkeersstromen niet fysiek gescheiden worden. Indien een scheiding toch noodzakelijk is, bijvoorbeeld het scheiden van doorgaand en lokaal verkeer, dan is die gemakkelijk aanpasbaar, verplaatsbaar of verwijderbaar. Vanuit dezelfde optiek zijn brede en fysiek verankerde of gematerialiseerde middenbermen tussen de rijrichtingen en tussenliggende brugpijlers te vermijden. Door hier in de mate van het mogelijke al rekening mee te houden, kan later beter ingespeeld worden op de evolutie naar geautomatiseerd rijden wat een andere en meer dynamische wegindeling zal vereisen of op termijn fysieke wegindelingen zelfs overbodig zou kunnen maken.

Het lightsysteem voor de herinrichting van de R0-Noord speelt al deels in op dit principe. Het parallelsysteem vertrekt nog altijd van een scheiding van doorgaand en lokaal verkeer op de Ring zelf. Toch kent het dwarsprofiel al een hoge mate van flexibiliteit door het fysiek bundelen van de doorgaande en de stedelijke ringweg. De aanpasbaarheid kan nog verhoogd worden door de functionele scheiding op een adaptieve manier te realiseren.



Figuur 10: Adaptieve of verwijderbare scheiding tussen DRW en SRW n het parallelsysteem

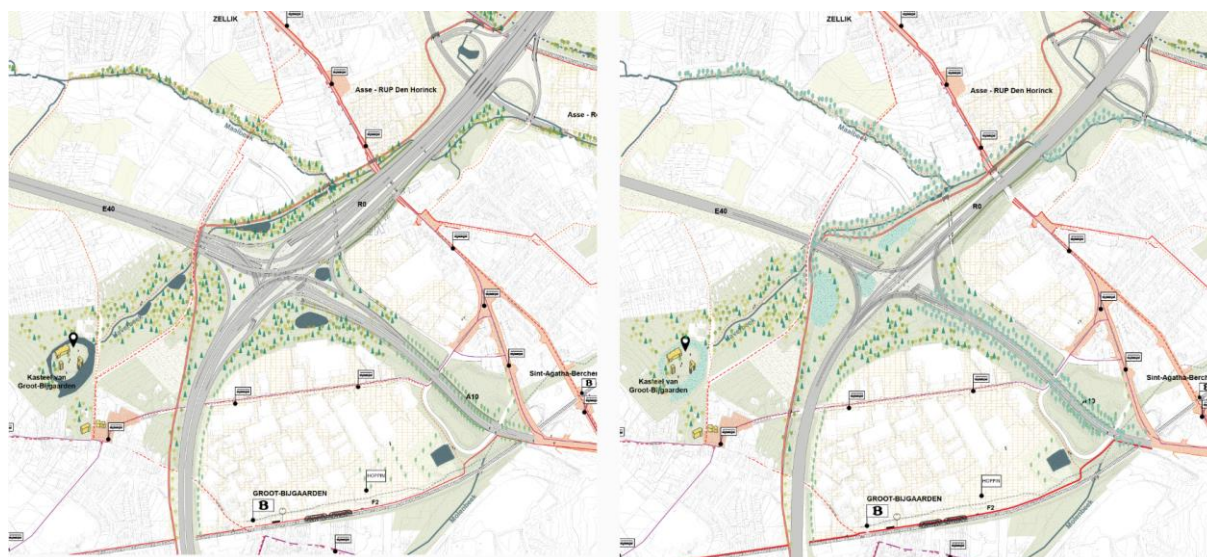
Het principe van het obstakelvrije rijvlak staat in relatie tot de compactering van het dwarsprofiel. Hoe smaller het dwarsprofiel, hoe kleiner de overspanningen van bruggen over de Ring. Dit leidt tot eenvoudigere, lichtere en ook goedkopere infrastructures. Het vermijdt ook dat bij een latere compactering van de weg, de overspanning veel breder is dan de onderliggende weg.

De verwachte impact van de evolutie naar zelfrijdende voertuigen heeft ook gevolgen voor de ontwerpbenadering van aansluitingscomplexen en verkeerswisselaars.

Bij aansluitingscomplexen en vooral bij de verkeerswisselaars kunnen op termijn ook ruimtewinsten gerealiseerd worden, onder andere door het versmallen van de rijstroken en het inperken van de bochtstralen. Maar complexe verkeerswisselaars zijn veel minder adaptief, het aanpassen van een wisselaar zal al vlug ingrijpende werken vereisen. Vanuit de future-proofbenadering is het daarom wenselijk om van bij het begin de wisselaars en aansluitingscomplexen zo eenvoudig mogelijk te concipiëren en eventueel zelfs het aantal wisselaars of aansluitingscomplexen te beperken. Vanuit deze benadering lijken de b-knopen en de a'-knopen beter aan deze voorwaarden te voldoen dan de a-knopen, ongeacht het alternatief.

Concrete toepassingen voor de R0-Noord zijn de minder complexe a'- of b-varianten voor de wisselaars (t.o.v. de complexere a-knopen). Het beperken van het aantal tussenliggende aansluitingscomplexen wordt bereikt door het opheffen van ASC 8 (Wemmel) (in alle alternatieven) en de afkoppeling van de R22 (in alternatief 1 en als variant in de andere alternatieven).

Pas bij volledig autonoom rijden (verwacht niet vroeger dan 2075, zie § 2.1) , vervalt de noodzaak om de verschillende verbindingen zo veel mogelijk conflictvrij uit te voeren. De zelfrijdende en geconnecteerde voertuigen zoeken en vinden immers autonoom hun weg doorheen een wisselaar of aansluiting. Dit resulteert in een (nog) compactere vormgeving van de knopen en aansluitingscomplexen. Bij wijze van illustratie werd deze oefening uitgevoerd voor de verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden, zowel voor de a-knoop als voor een b-knoop.



Figuur 11: Verbeelding van de ontworpen toestand voor de A-knoop (links) vs future-proof toestand voor de A-knoop (rechts)



Figuur 12: Verbeelding van de ontworpen toestand voor de B-knoop (links) vs future-proof toestand voor de B-knoop (rechts)

2.4. Future-proofstrategieën autonome vervoerssystemen

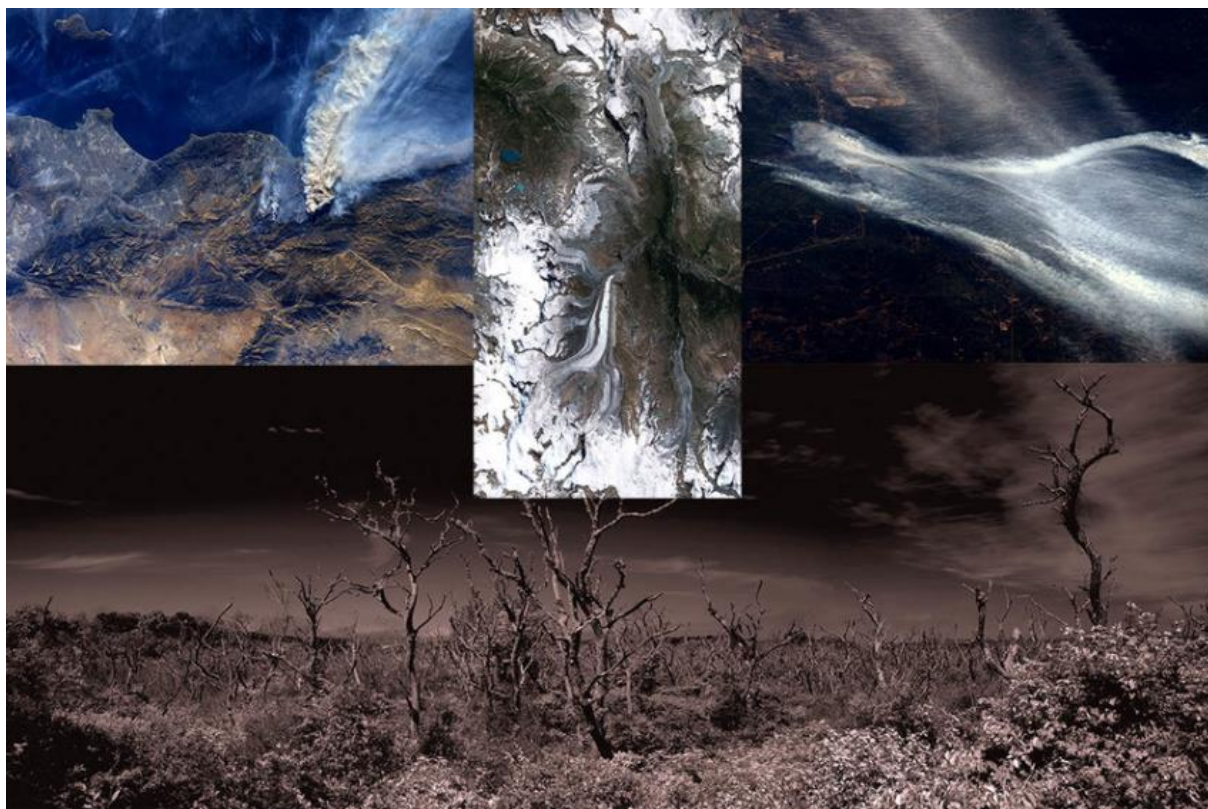
Kiezen voor:

- een adaptief wegontwerp dat verdere compactering mogelijk maakt zonder ingrijpende infrastructuurwerken;
- infrastructuur ontworpen als één rijvlak dat flexibel en dynamisch ingedeeld en gebruikt kan worden;
- obstakelvrije rijvlakken met vrije overspanningen;
- flexibele afscheidingen tussen verkeersstromen in plaats van harde fysieke grenzen. Flexibele afscheidingen zijn gemakkelijk te verplaatsen of weg te nemen;
- zo eenvoudig mogelijke verkeerswisselaars en aansluitingscomplexen.

3. TREND: DE KLIMAATVERANDERING ZET ZICH DOOR

Some say the world will end in fire, some say in ice

(Fire and Ice, Robert Frost)



Figuur 13: Fire & ice (Bron: Daniel Ranalli)

3.1. Kader: Het klimaatportaal

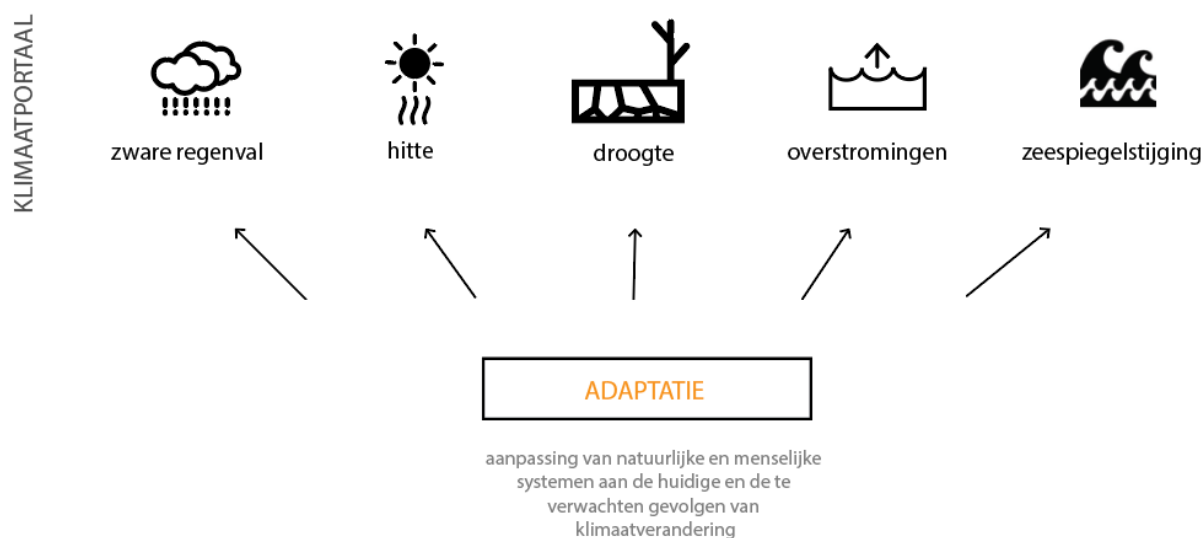
Klimaatverandering

Het klimaatportaal Vlaanderen⁵ brengt de belangrijkste effecten van klimaatverandering in beeld. De klimaatverandering is de verandering van de gemiddelde weersomstandigheden op aarde, en ook de wijzigende kans op voorkomen van weersextremen. Deze zijn een rechtstreeks gevolg van de stijgende concentraties aan broeikasgassen in onze atmosfeer door menselijke activiteiten, zoals het gebruik van fossiele energie en ontbossing.

Klimaatopwarming is een van de grootste mondiale risico's voor mens en maatschappij. Ze zal in Vlaanderen eenvoudig uitgedrukt zorgen voor 'meer hittegolven, meer en heviger onweders, drogere zomers, nattere winters en een stijgend zeeniveau'.

Thema's klimaatportaal

Het Klimaatportaal Vlaanderen brengt 5 thema's naar voren die een grote impact zullen ondervinden ten gevolge van de extremere weersomstandigheden.



Figuur 14: Verschillende thema's omtrent extremere weersomstandigheden (Bron: THV MoVeR0)

- **Wateroverlast**

Wanneer regen onvoldoende in de bodem kan dringen, stroomt het regenwater over land af naar lager gelegen gebieden. Binnen de huidige klimaatverandering zorgt het regenwater in samenspel met de grote verharding in Vlaanderen voor veel meer wateroverlast dan enkele decennia terug. In de steden zullen meer en intensere onweersbuien voorkomen, gevolgd door toenemende wateroverlast, erosie en modderstromen. In het projectgebied kan de hoeveelheid neerslag tegen 2100 stijgen tot +38 % tijdens de wintermaanden.

In het projectgebied zijn er reeds grote bezorgheden rond wateroverlast ter hoogte van de Maalbeek- en Molenbeekvallei, alsook ter hoogte van de Kleine Maalbeek en de Woluwe.

⁵ <https://klimaat.vmm.be/>

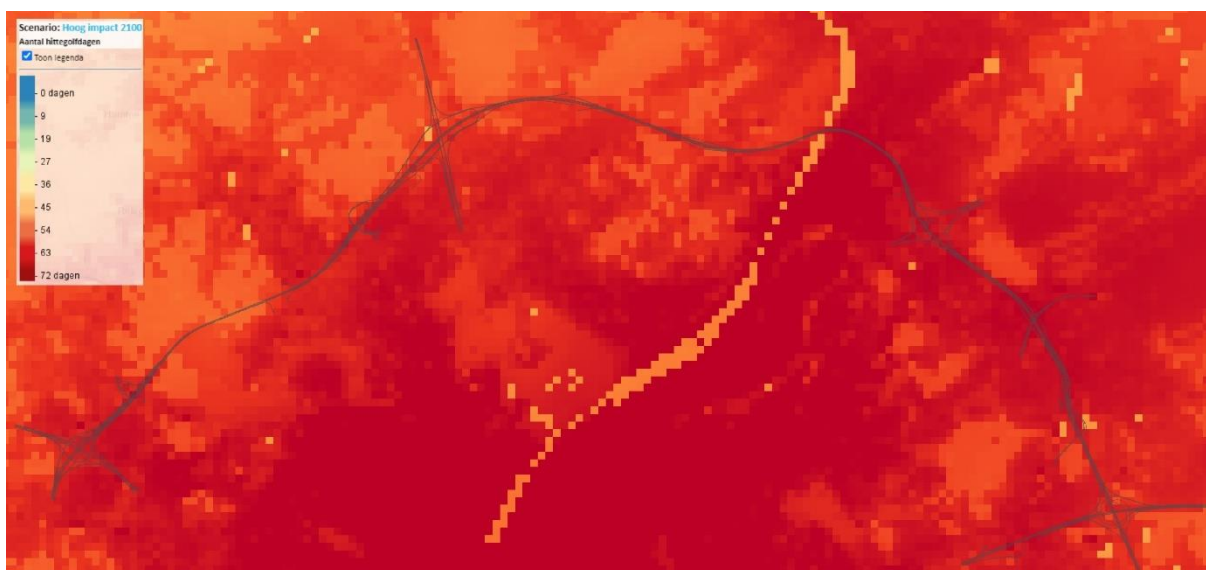


Figuur 15: Wateroverlast in de Noordbeekstraat, Grimbergen (bron: Het Nieuwsblad, 16/01/2016)

- **Hittestress**

Door de stijgende temperaturen zal de hittestress vooral voelbaar zijn in de bebouwde omgeving, minder in de landelijke omgeving. Er wordt verwacht dat de jaargemiddelde temperatuur tegen 2100 tussen de 0,7 en 7,2° C hoger zal liggen. De aanwezigheid van groen heeft een belangrijk milderend effect inzake de 'hittestress'.

Concreet zal de volledige projectzone van de R0-Noord zwaar kreunen onder hittestress in 2100, de zones die iets minder donkerrood kleuren zijn de open kouters en onbebouwde gebieden samen met het kanaal van Willebroek.



Figuur 16: Illustratie hittestress in 2100 in het projectgebied R0-Noord (bron: klimaat.vmm.be)

- **Droogte**

Vlaanderen heeft een van de laagste waterbeschikbaarheden per inwoner in Europa (1.100 à 1.700 m³ per persoon) (MIRA 2021). Dit komt door een combinatie van een hoge bevolkingsdichtheid en een relatief beperkte aanwezigheid van oppervlakte- en grondwater. De klimaatverandering brengt het bestaande, fragiele evenwicht uit balans. De toename van periodes van droogte tijdens de zomer zal resulteren in een grotere irrigatiebehoefte in de toekomst.

Voor het projectgebied van de R0-Noord zal de combinatie van een hoge bevolkingsdichtheid en een relatief beperkte aanwezigheid van oppervlakte- en grondwater, schadelijke gevolgen hebben voor zowel de ecosystemen, landbouw als voor de waterlopen.

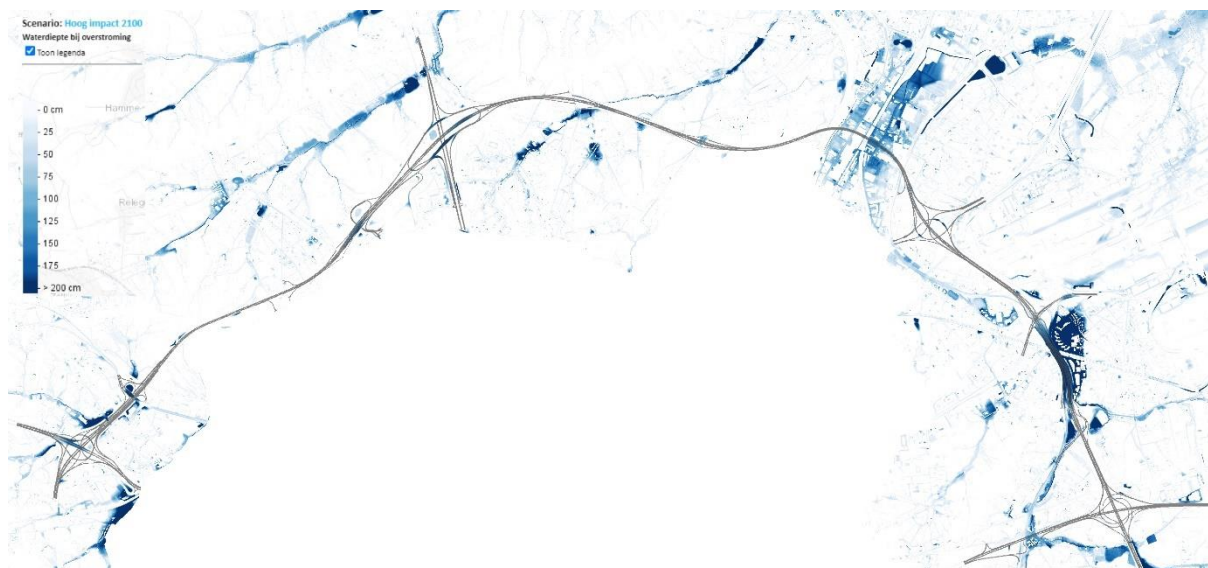


Figuur 17: Illustratie droogte in 2100 in het projectgebied R0-Noord (bron: klimaat.vmm.be)

- **Overstromingen**

Tijdens periodes van aanhoudende neerslag kunnen waterlopen buiten hun oevers treden, en zo leiden tot overstroming van kritieke infrastructuur in Vlaanderen. Tegen 2050 kan de neerslag (tijdens de maanden november tot mei) telkens met meer dan 10 % toenemen. De overstromingen vanuit waterlopen, veroorzaakt door afstromend regenwater tijdens hevige zomerweddens, doen zich in het huidige klimaat voor in één vijfde van de gemeenten.

Diverse gemeenten gelegen rond het projectgebied van de R0-Noord werden reeds getroffen door overstromingen.

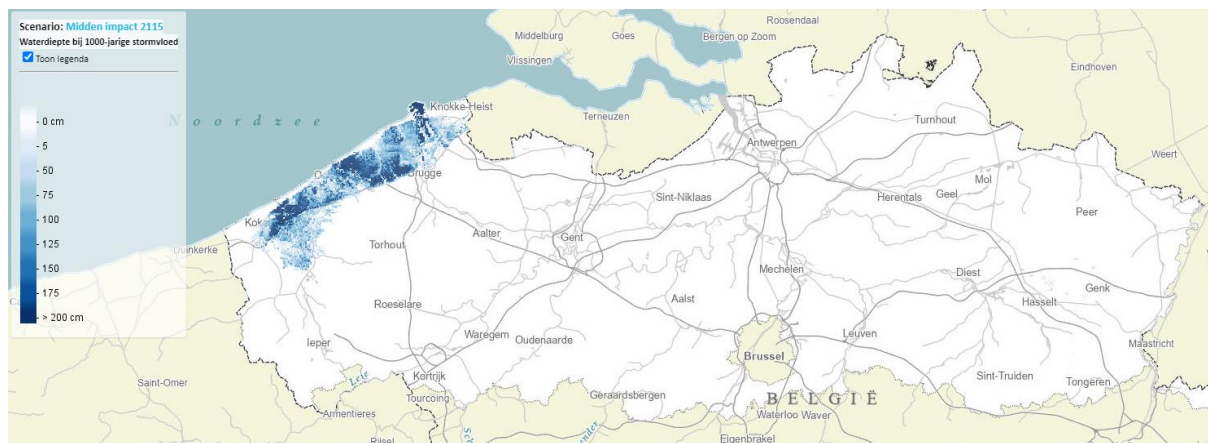


Figuur 18: Illustratie waterdiepte bij overstromingen in 2100 in het projectgebied R0-Noord (bron: klimaat.vmm.be)

- **Zeespiegelstijging**

Door klimaatverandering stijgt het zeeniveau met 80 cm naar het einde van de 21ste eeuw. Zo nemen ook de piekwaterstanden bij stormvloed toe, waardoor de kans stijgt op overstroming van de kustzone en de polders vanuit de Noordzee.

Via het Masterplan Kustveiligheid werkt Vlaanderen de komende decennia aan een behoud van de bescherming tegen een hevige storm zoals die één keer in de duizend jaar voorkomt. Het projectgebied R0-Noord valt echter buiten de desbetreffende zone.



Figuur 19: Illustratie zeespiegelstijging in 2115 in België (bron: klimaat.vmm.be)

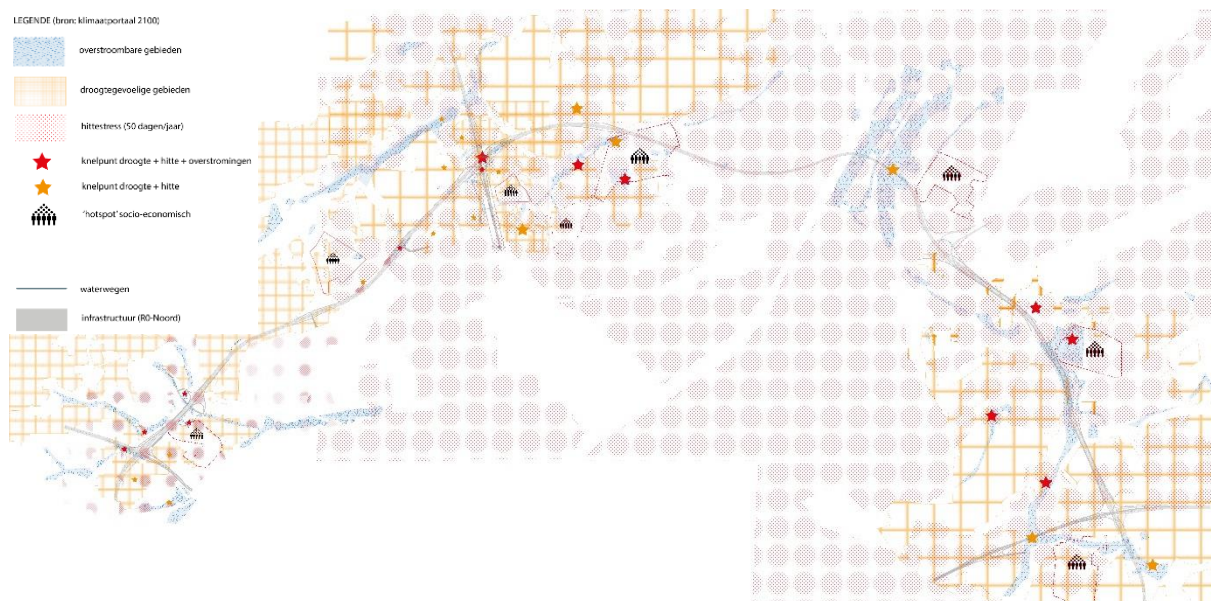
- **Knelpuntenkaart – socio-economisch**

De klimaatopwarming vormt één van de grootste wereldwijde risico's voor mens en maatschappij. De belangrijkste effecten en impact werden samengebracht op de knelpuntenkaarten binnen het projectgebied van de R0-Noord. Naast de knelpunten veroorzaakt door extreme droogte, hitte (en overstromingen), zijn er ook zones gedetecteerd die socio-economisch een knelpunt vormen.

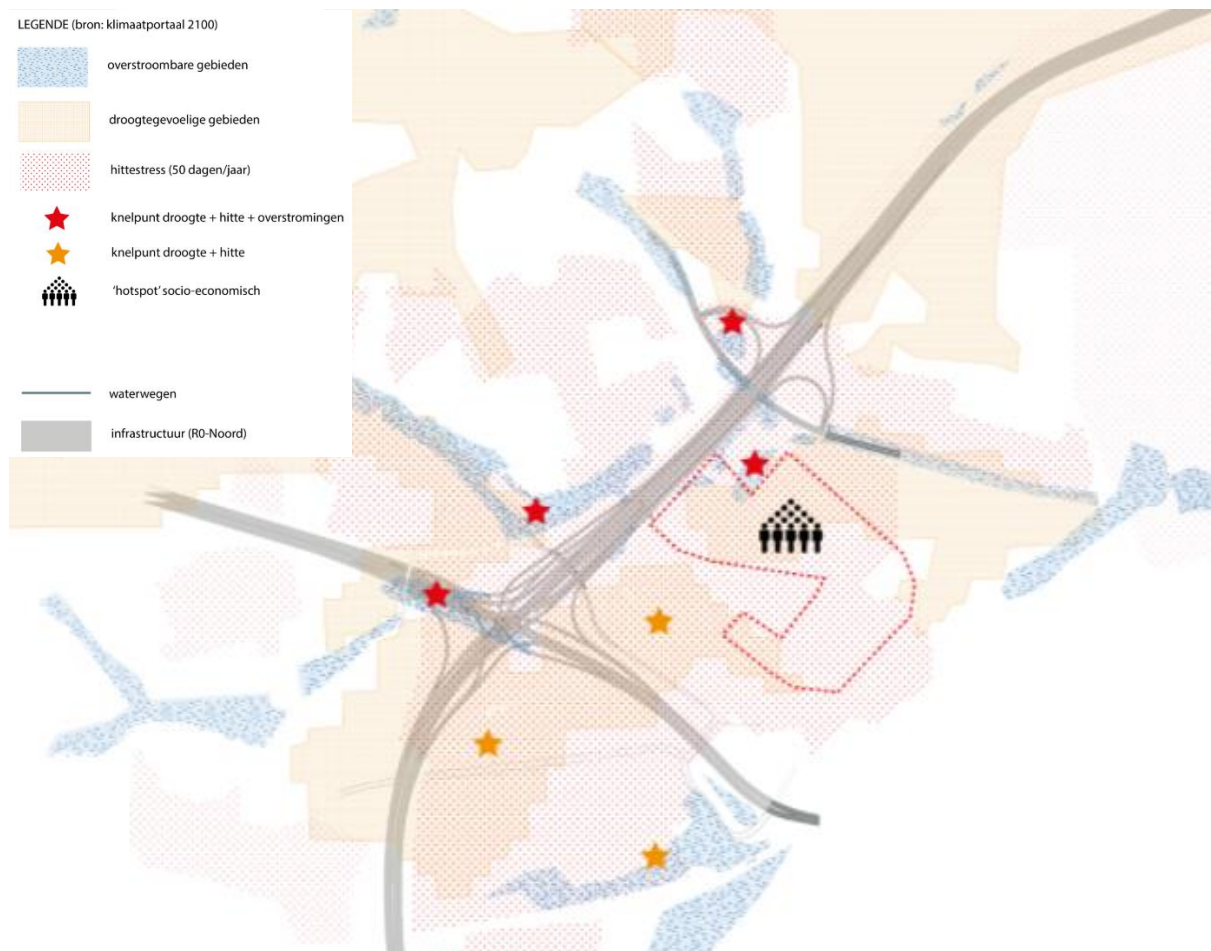
De socio-economische indicator is samengesteld door het combineren van individuele representatieve klimaatimpacts uit de respectievelijke thema's:

- aantal door hittestress getroffen personen per statistische sector,
- aantal gevaarlijk overstroomde gebouwen per statistische sector voor overstromingen vanuit rivieren en door wateroverlast.

De getroffen personen en gebouwen bevinden zich op diverse plekken langsheen het projectgebied van de R0-Noord.






Figuur 20: Illustratie knelpuntenkaart met indicatie socio-economisch getroffen personen en gebouwen



Figuur 21: Illustratie knelpuntenkaart met indicatie socio-economisch getroffen personen en gebouwen – verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden

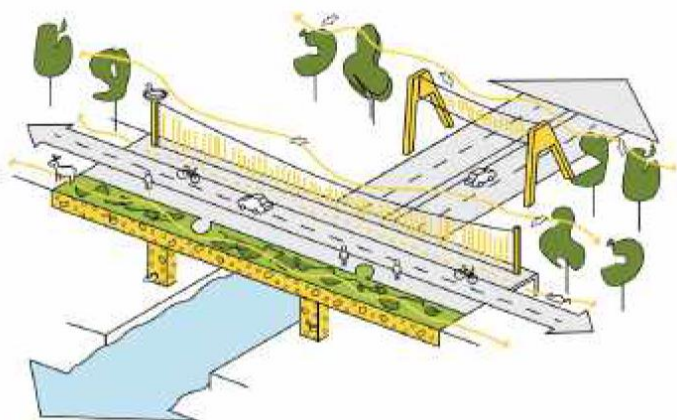
3.2. TRANSVER-concepten en principes

De 'TRANSVER-studie' heeft gebruikt gemaakt van de beschikbare trendanalyses en scenario-onderzoek. Inzake de maximale inzet voor 'klimaat' en 'energie' zijn de volgende trends terug te vinden:

-  • Biodiversiteitsverlies en kwaliteit ecosystemen – infrastructuur als klimaatregulator
-  • Nieuwe bouwtechnieken – infrastructuur als materialendepot
-  • Energie – infrastructuur als energiecyclus

De vervoersinfrastructuur moet bestand zijn tegen veranderende omgevingsfactoren zoals de klimaatverandering. De doelen op het vlak van mobiliteit enerzijds en klimaat, energie en milieu anderzijds lijken soms moeilijk verzoenbaar. De biodiversiteit neemt af en ecosystemen verzwakken. Periodes van overstroming en droogte tonen aan dat Vlaanderen nog niet is opgewassen tegen de gevolgen van de klimaatverandering, en de Vlaamse bijdrage om klimaatverandering tegen te gaan door bijvoorbeeld het op gang trekken van een omslag naar nieuwe vormen van energie verloopt traag. Technologische innovatie en natuurinclusief bouwen, blijken naast gedragsverandering een belangrijke sleutel om oplossingen te bieden voor deze grote opgaven.

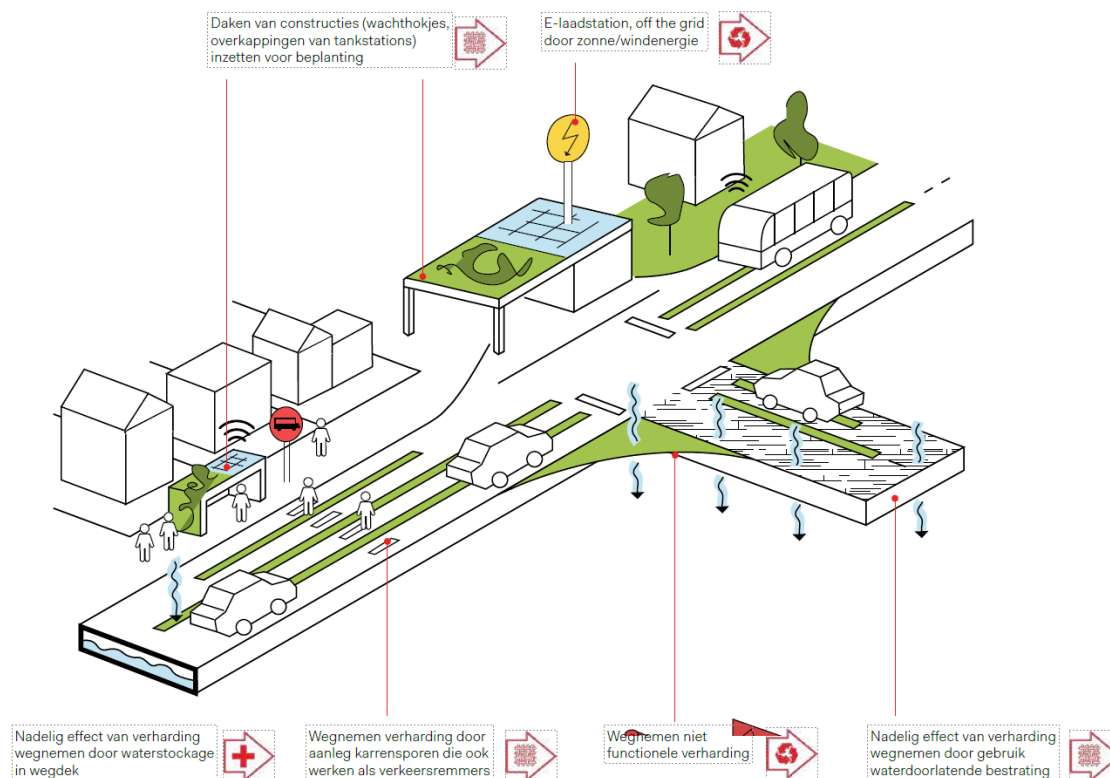
De ruimtelijke organisatie en het mobiliteitssysteem leggen een druk op de klimaatbestendigheid en ecosystemen van Vlaanderen. De hieronder geïllustreerde transformaties van de infrastructuur zijn gericht op het wegnemen van niet-functionele verharding, het verhogen van de waterdoorlaatbaarheid van noodzakelijke verharding en het creëren van ecologisch waardevolle groenvolumes.



Figuur 22: Natuurinclusieve infrastructuur (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

Biodiversiteitsverlies en kwaliteit ecosystemen – infrastructuur als klimaatregulator

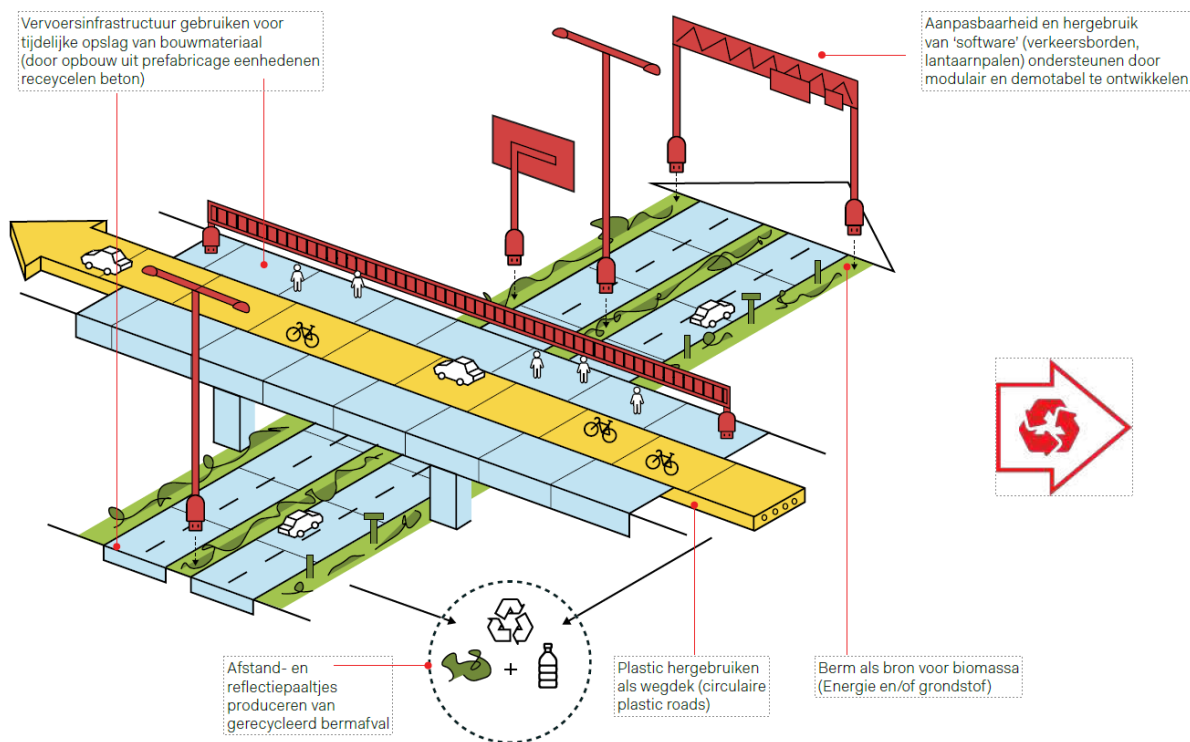
Zo kunnen de lijninfrastructuren transformeren tot klimaatregulators en dragers van ecosystemen. Natuurinclusieve lijninfrastructuren kunnen op termijn de standaard zijn maar op korte termijn zijn transformaties prioritair in gebieden die kampen met droogte, wateroverlast en het hitte-eiland-effect.



Figuur 23: Lijninfrastructuur als klimaatregulator en drager van een ecosysteem (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

Nieuwe bouwtechnieken – infrastructuur als materialendepot

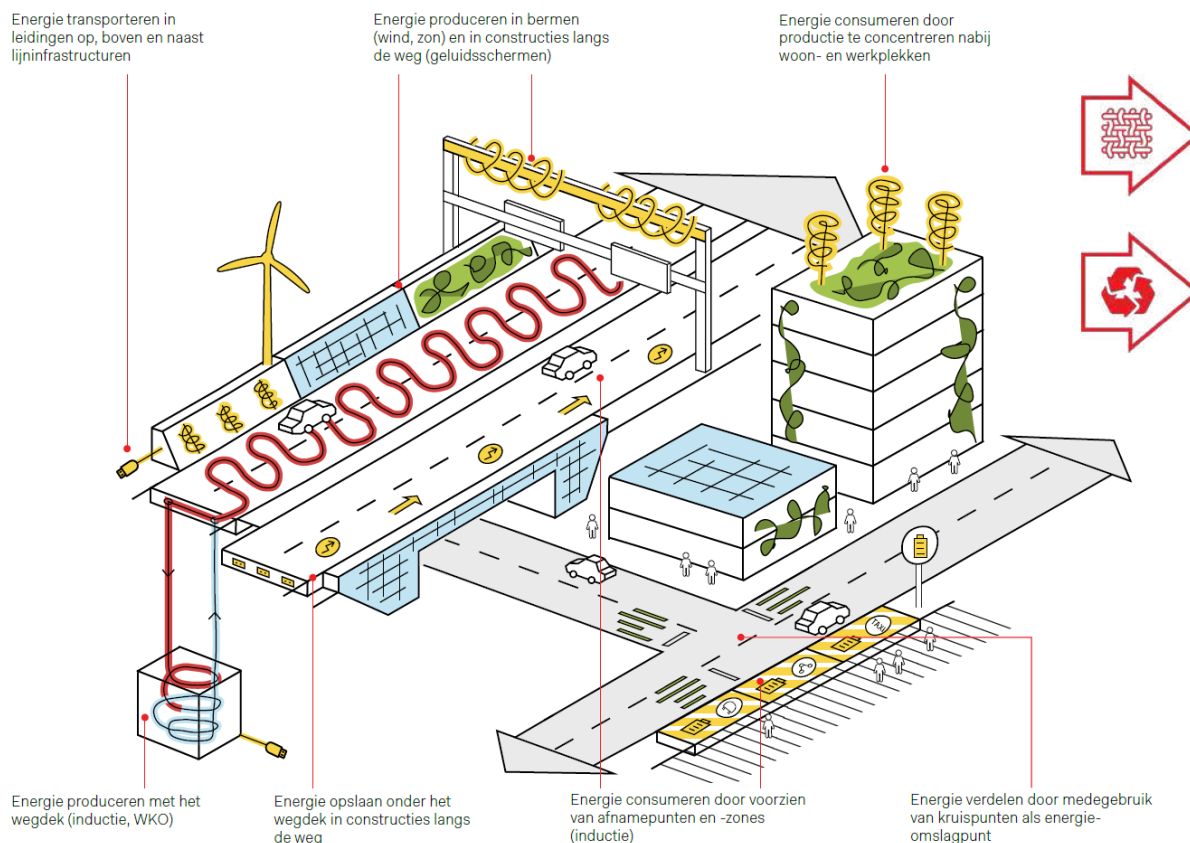
De transformatie naar infrastructuur als materiaaldepot is erop gericht bouw- en gebruikersafval van vervoersinfrastructuur te minimaliseren en het gebruik van restmateriaal voor de bouw en het onderhoud van infrastructuur te maximaliseren. Het circulair denken is een belangrijk onderdeel binnen de gedachte van het ruimtelijk transformeren. De ontwikkeling van vervoersinfrastructuur moet zich op lange termijn volledig inschakelen in de circulaire economie.



Figuur 24: Lijninfrastructuur als materiaaldepot (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

Energie - infrastructuur als energiecycclus

De vervoersinfrastructuur biedt ruime mogelijkheden om de vervoersfunctie te verweven met de functie van het produceren, opslaan, transporteren en consumeren van energie. Een verweven gebruik van vervoersinfrastructuur met energie betekent dat spelers in de energiemarkt kunnen optreden als cofinancierder van onderhoud en transformaties van vervoersinfrastructuur.



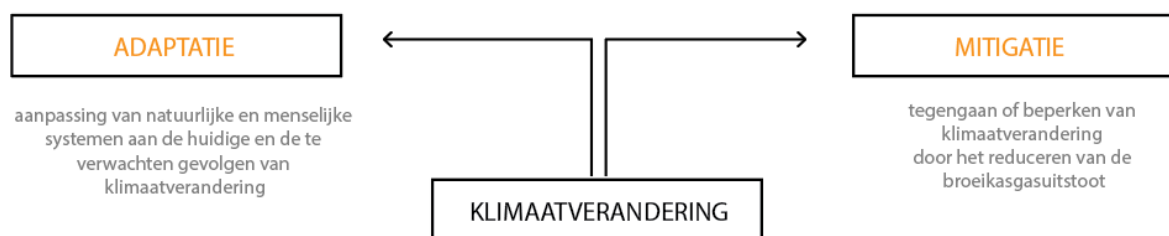
Figuur 25: Infrastructuur als energicyclus (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

3.3. Klimaatsverandering: adaptatie vs mitigatie

Een van de belangrijkste vragen is vandaag: wat kunnen we aan klimaatverandering doen? Zowel adaptatie als mitigatie zijn nodig in de strijd tegen klimaatverandering en vormen de kern van het Vlaams klimaatbeleidsplan⁶.

De aanpassing van natuurlijke en menselijke systemen aan de huidige en de te verwachten gevolgen van klimaatverandering wordt **adaptatie** genoemd.

Het tegengaan of beperken van de klimaatverandering door het reduceren van de broeikasgasuitstoot noemen we **mitigatie** en pakt klimaatverandering aan bij de bron.



Figuur 26: Illustratie van adaptatie en mitigatie binnen de klimaatverandering (Bron: THV MoVeR0)

⁶ <https://www.energiesparen.be/klimaat>

3.4. Toepassing R0-Noord

3.4.1. Klimaatadaptatie – Hittestress

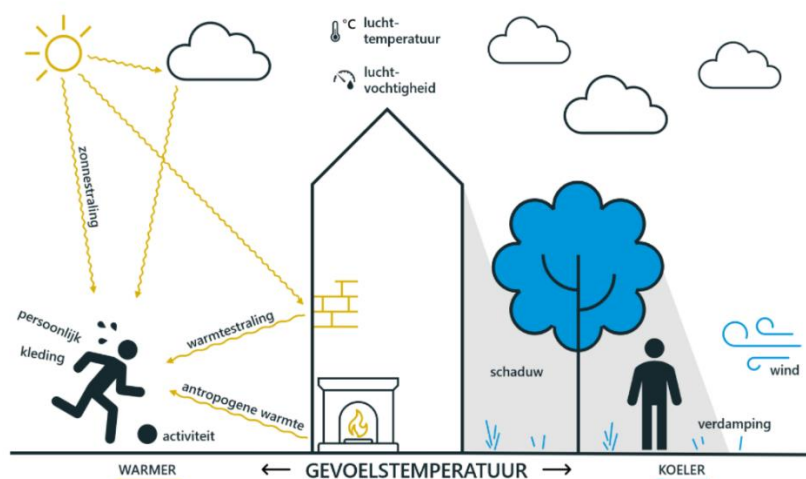
In het kader van het R0-Noord future-proofonderzoek, werden hittestresskaarten opgemaakt voor de twee ontwerpvarianten, Alternatief 1b en Alternatief 2a⁷, van de verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden. Het doel van het hittestressonderzoek is om de hittestresskaarten van de twee varianten met elkaar te vergelijken en te vergelijken met de bestaande toestand.

Definitie hittestress

Hittestress ontstaat als er onbalans is van aan- en afvoer van warmte vanuit het menselijk lichaam⁸. Het Vlaamse Klimaatportaal⁹ gebruikt momenteel hittegolfgraaddagen als indicator voor hittestress. Deze indicator is een indicatie van de luchttemperatuur. Luchttemperatuur alleen is echter niet voldoende om te beschrijven welk thermisch comfort mensen ervaren op een bepaalde locatie. Daarom werd in het kader van deze studie een PET-kaart¹⁰ opgemaakt.

PET is een indicator die de **gevoelstemperatuur** weergeeft waarbij rekening wordt gehouden met volgende parameters:

- Luchttemperatuur,
- luchtvochtigheid,
- windsnelheid,
- globale en thermische straling,
- kledingisolatie,
- inspanning (metabolisme).



Figuur 27: Illustratie omtrent de gevoelstemperatuur (bron: klimateffectatlas.nl)

⁷ De varianten Alternatief 1b en Alternatief 2a van de verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden werden geselecteerd binnen de testcase als exemplarisch. B-knoop is een halve verkeerswisselaar, A-knoop is een volledige verkeerswisselaar.

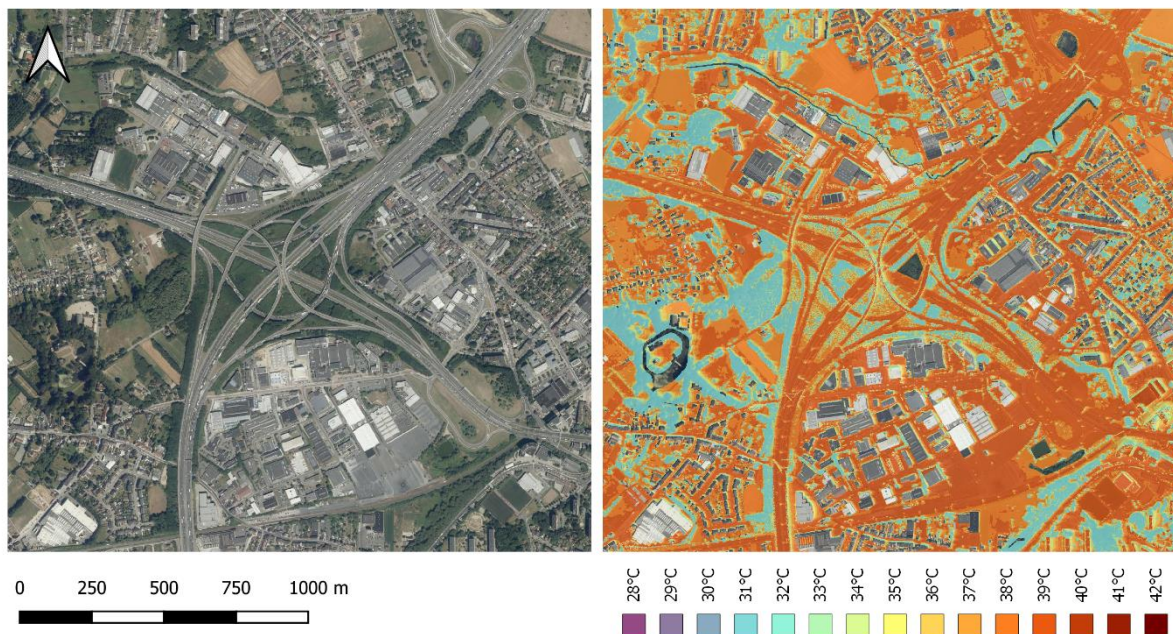
⁸ (Heusinkveld, et al., 2017)

⁹ <https://klimaat.vmm.be/>

¹⁰ 'PET = 'Physiological Equivalent Temperature'

Hittestress bestaande toestand

Het model bevat de hoogtekaart, GRB, vegetatiekaarten en bomenkaart, samen met de waarnemingen van een weerstation tijdens een landelijke hittegolf¹¹. Dit resulteert in onderstaande hittestresskaart voor de bestaande toestand.¹² De kaart toont waar het relatief warmer voelt (rode tinten) en op welke plekken het relatief koeler voelt (blauwe tinten).



Figuur 28: Bestaande toestand: orthofoto tijdens zomer (links) en gevoelstemperatuur tijdens hete zomerdag (rechts) (Bron: THV MoVeR0)

De volgende conclusies kunnen worden genomen:

- Plekken met veel verharding zoals wegenis, voetpaden, parkings of pleinen zorgen voor een hogere gevoelstemperatuur. Op deze plekken is het op een hete zomerdag het minst comfortabel.
- Plekken met (voldoende hoge) vegetatie zoals bomen of plekken ten noorden van (grote) gebouwen zorgen voor een lagere gevoelstemperatuur vanwege verkoeling door verdamping en schaduweffecten.
- Akkers en graslanden kleuren oranje op de hittestresskaart. Hieruit blijkt dat het verkoelend effect van deze types landbedekking veel lager is dan bomen. Dit is het gevolg van een lagere verdamping en de afwezigheid van schaduweffecten.

Vergelijking binnen de projectcontour - hittestress ontwerpvarianten Alternatief 1b en Alternatief 2a

De uitdaging hierbij lag in het gebruik van ruwe ontwerpdata in het model in plaats van gedetailleerde data uit het GRB, luchtfoto en het digitaal hoogtemodel. Om de twee ontwerpvarianten met elkaar en met de bestaande toestand te kunnen vergelijken op vlak van hittestress, werd de gemiddelde **gevoelstemperatuur** binnen de projectzone berekend en vergeleken.

¹¹ Weerstation in Melsele tijdens hittegolf (12-08-2020)

¹² Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methodologie wordt verwezen naar de bijlage.

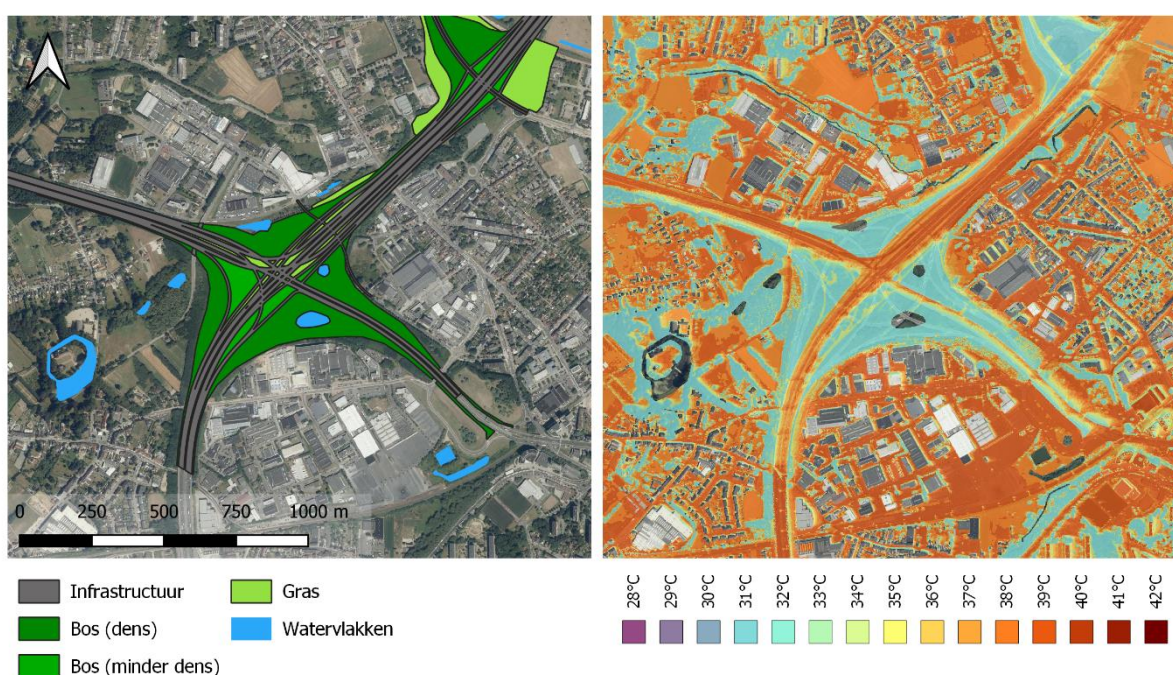
• **Ontwerpvariant Alternatief 1b**

Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de grote voorziene ruimte voor bos, zowel dens als minder dens, voor een sterk verkoelend effect zorgt.

De gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone bedraagt 34,7 °C. Hierdoor zorgt de ontwerpvariant Alternatief 1b voor een daling van de gemiddelde gevoelstemperatuur van 3 °C.

De grote oppervlakten aan bomen brengen verkoeling door verdamping en schaduw. Dit effect wordt omwille van twee redenen overschat.

- Ten eerste is in het model geen hoogte toegekend aan de weginfrastructuur en bevindt deze zich ter hoogte van het maaiveld.
- Ten tweede is de boomlaag gesimuleerd door werkelijke bomen uit het Zoniënwoud, waarbij het gaat over volgroeide bomen van ruim 15 m. In werkelijkheid zal het verkoelend effect en de schaduweffecten van de bomen rond de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden minder sterk zijn, zeker de eerste jaren na aanplanting.

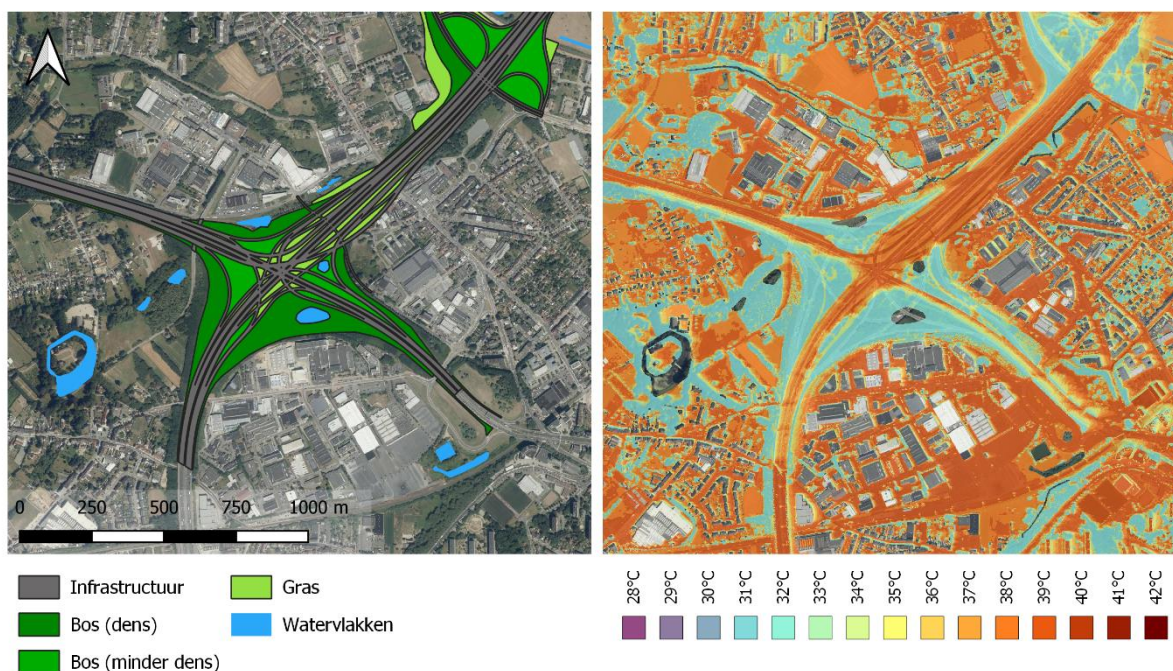


Figuur 29: Ontwerpvariant Alternatief 1b: orthofoto tijdens zomer met aangeleverde ontwerpdata (links) en gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag (rechts) (Bron: THV MoVeR0)

• **Ontwerpvariant Alternatief 2a**

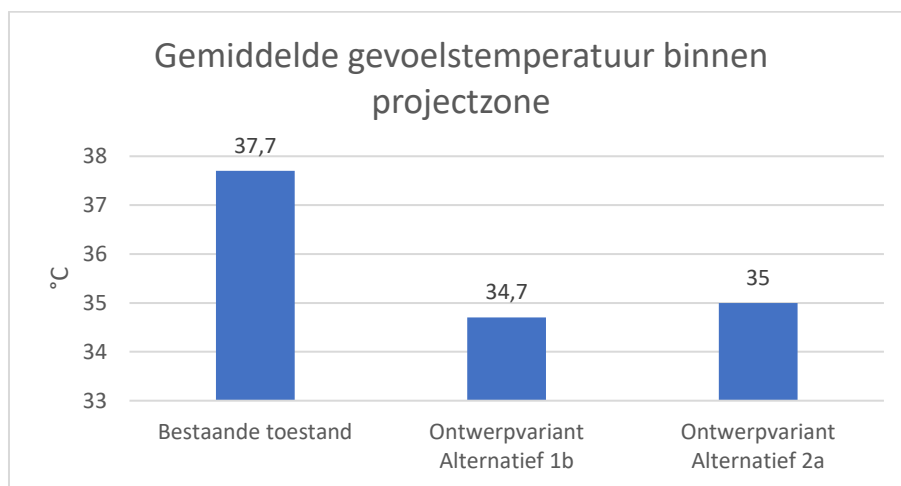
De gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone bedraagt 35,0 °C. Hierdoor zorgt de ontwerpvariant Alternatief 2a voor een daling van de gemiddelde gevoelstemperatuur van 2,6 °C.

Dit effect wordt omwille van dezelfde twee redenen zoals hierboven beschreven, overschat.



Figuur 30: Ontwerpvariant Alternatief 2a: orthofoto tijdens zomer met aangeleverde ontwerpdata (links) en gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag (rechts) (Bron: THV MoVeR0)

De tabel hieronder geeft een overzicht van de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone voor de bestaande toestand en de ontwerpvarianten Alternatief 1b en Alternatief 2a. Beide varianten zorgen duidelijk voor een sterke afname van de hittestress in vergelijking met de bestaande toestand.

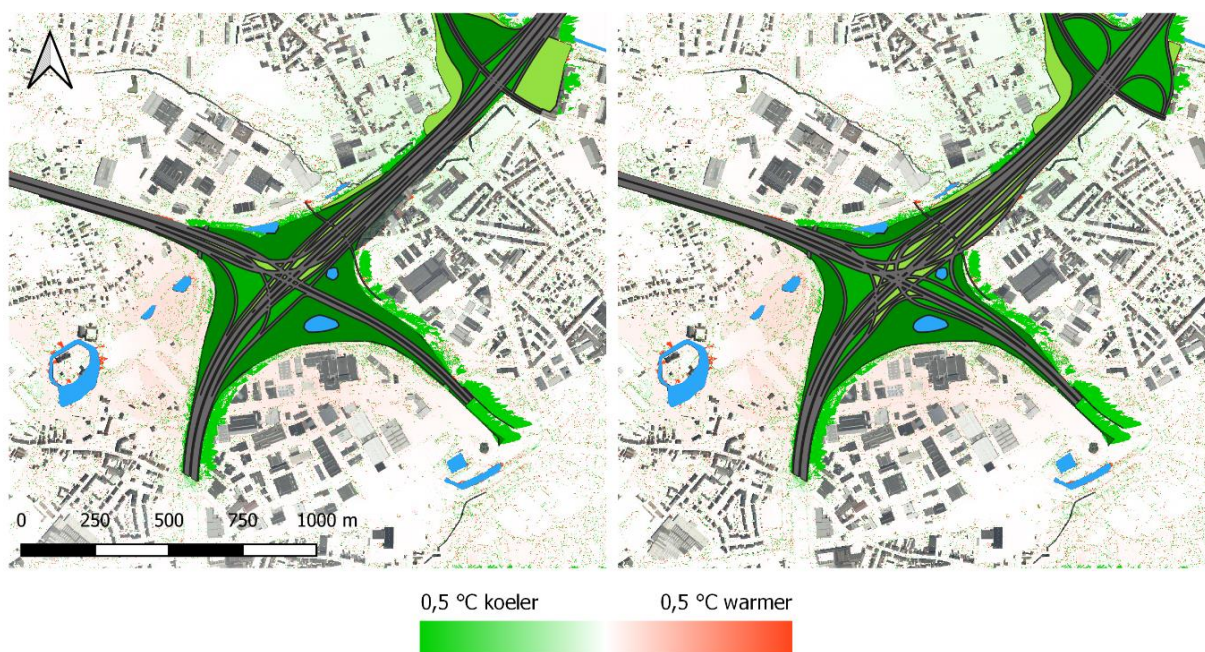


Tabel 1: Vergelijking van de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone voor de bestaande toestand en de ontwerpvarianten Alternatief 1b en Alternatief 2a (Bron: THV MoVeR0)

Vergelijking buiten de projectzone - hittestress ontwerpvarianten Alternatief 1b en Alternatief 2a

Aan de hand van de onderstaande figuur kan het effect van de ontwerpvariant op de omgeving op vlak van hittestress bekeken worden:

- op plekken met groene tint: de ontwerpvariant zorgt voor een lagere hittestress t.o.v. de bestaande toestand
- op plekken met rode tint: de ontwerpvariant zorgt voor een hogere hittestress t.o.v. de bestaande toestand.



Figuur 31: Berekend verschil in gevoelstemperatuur tussen de ontwerpvariant en de bestaande toestand buiten de projectzone. Op deze manier kan het effect van de ontwerpvariant op de omgeving bekeken worden, voor Alternatief 1b (links) en Alternatief 2a (rechts). Op plekken met groene (of rode) tint zorgt de ontwerpvariant voor een lagere (of hogere) hittestress t.o.v. de bestaande toestand.

Over het algemeen lijkt op basis van de hittestresskaarten het effect op de (ruimere) omgeving amper merkbaar. De verschillen tussen de bestaande toestand en de twee varianten zijn minimaal. Zeer waarschijnlijk gaat dit hier over een beperking van het model. Hoewel hittestress een lokaal verhaal is, is er zeker en vast ook verkoelend of verwarmend effect op grotere schaal.

Zo zijn er in werkelijkheid bijvoorbeeld specifieke windturbulenties rondom gebouwen. Ook wordt in werkelijkheid koele lucht van tussen bomen of boven waterpartijen getransporteerd naar de omgeving. In het model wordt daarentegen slechts een algemene westenwind aangenomen, zonder lokaal luchttransport dat bepaald wordt door de ruimtelijke plaatsing van vegetatie en waterpartijen.

Conclusie

In het kader van het project R0-Noord Future Proof werden hittestresskaarten opgemaakt voor de bestaande toestand en twee ontwerpvarianten voor de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden. Hierbij zijn enkele belangrijke opmerkingen te maken.

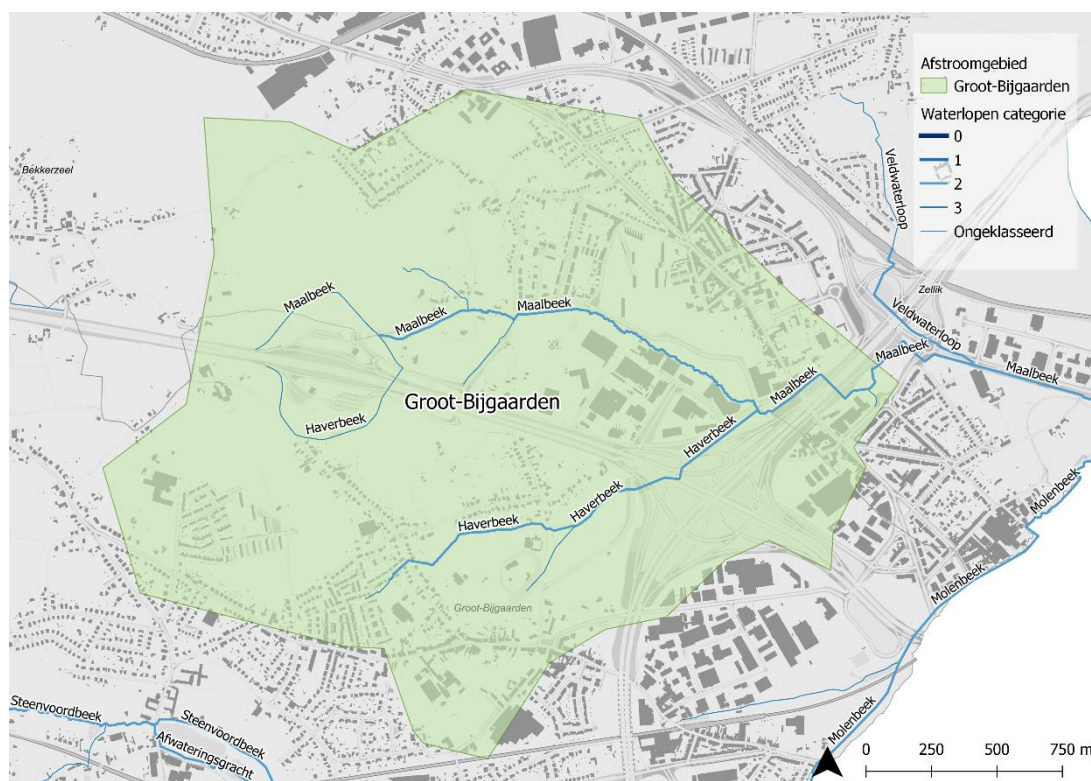
- De beide varianten Alternatief 1b en Alternatief 2a zorgen voor een afname van de hittestress binnen de projectzone t.o.v. de bestaande toestand;
- De verschillende varianten hebben weinig invloed op de gevoelstemperatuur in de omgeving;
- Voornamelijk vegetatie biedt verkoeling aan, zowel kwalitatief als kwantitatief;
- Om verkoeling te bieden op relatief warme plekken, moet er een verbinding zijn met de relatief koele plekken via verkoelende groenblauwe assen. Het verkoelend groenblauw netwerk biedt de grootste meerwaarde.

3.4.2. Klimaatadaptatie – Waterhuishouding

Voor de knoop aan Groot-Bijgaarden, geselecteerd als testcase, wordt nagegaan wat de oorzaak is van de huidige waterproblematiek. Er worden voor zowel de R0-Noord als voor de overige zones aan de knoop korte en lange termijn klimaatadaptatieve maatregelen aangeduid die de bestaande wateroverlast kunnen verbeteren.

Huidige toestand waterhuishouding

Ter hoogte van de knoop van Groot-Bijgaarden vloeien de Haverbeek en de Veldwaterloop samen in de Maalbeek. De waterlopen zijn over een deel van het tracé ingebuisd en ontvangen ook afstromend water van de omgeving.



Figuur 32: Afstromende oppervlakten die aangesloten zijn op de knoop van Groot-Bijgaarden. (Bron: THV MoVeR0)

De capaciteit van de inbuizingen zijn beperkt en onvoldoende om zware piekbuien veilig af te voeren. Dit zorgt voor opstuwing in het opwaarts stelsel, waardoor er water op straat komt te staan.

Toekomstvisie waterhuishouding

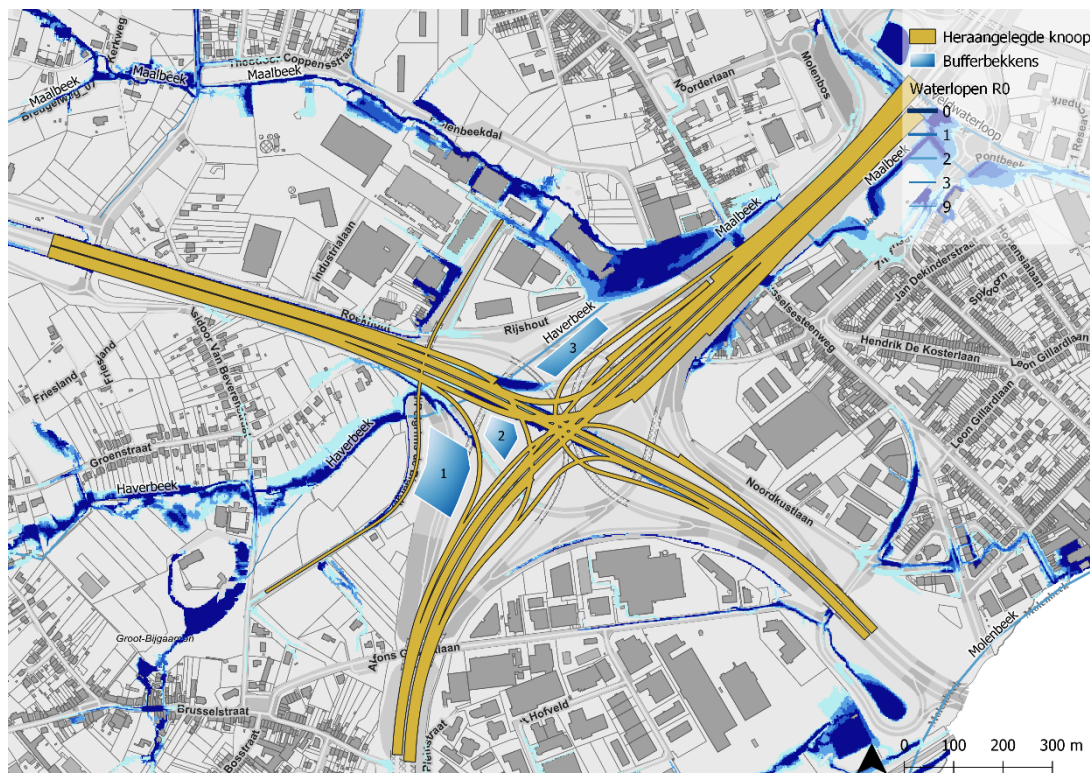
De verharding van de R0-Noord bedraagt ca. 11% van de totale verharding van de zone. Door de implementatie van 600 m³/ha buffering met strenge infiltratie- en doorvoereisen zal er tijdens piekmomenten minder water terecht komen in de waterlopen, maar zal het eerder ter plaatse blijven, infiltreren in de bodem of vertraagd worden geloosd nadat de bui afgelopen is. De wateroverlast in de zone zal daarom wat verbeteren.

Concreet moet bij de heraanleg van de R0-Noord **600 m³ buffering en/of infiltratie** worden voorzien per aangesloten hectare verharding. Voor de twee varianten van de verkeerswisselaar¹³ wil dit zeggen:

- Alternatief 1b: verharding van 21 ha, dus een buffer-/infiltratie-eis van 12.600 m³ is noodzakelijk;
- Alternatief 2a: verharding van 25 ha, dus buffer-/infiltratie-eis van 15.000 m³ is noodzakelijk.

¹³ De varianten G1b en G2a van de verkeerswisselaar Groot-Bijgaarden werden geselecteerd binnen de testcase als exemplarisch. B-knoop is een halve verkeerswisselaar, A-knoop is een volledige verkeerswisselaar.

De buffering en infiltratie wordt in deze denkoefening verwezenlijkt in open bekken in en nabij de verkeerswisselaar. Er wordt gerekend met ronde bekken van telkens 1,5 m diep, waarin 1 m water kan worden geborgen onder de overstort.



Figuur 33: Locatie van potentiële bufferbekkens aan de verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden. (Bron: THV MoVeR0)

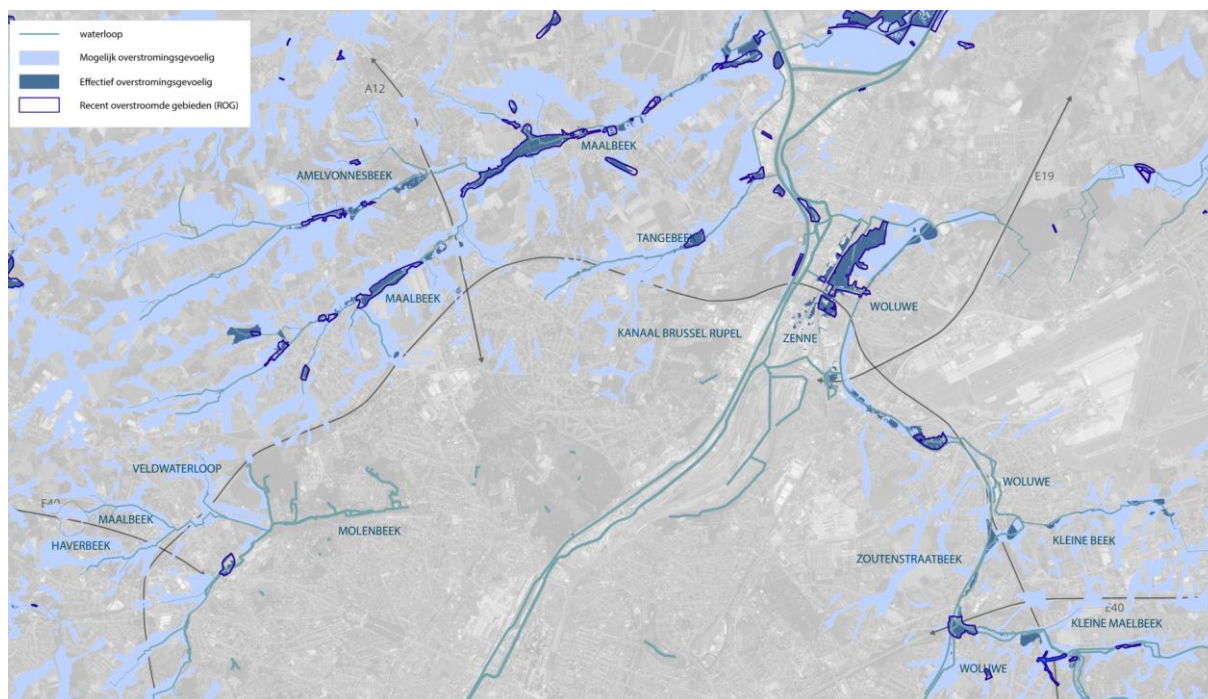
Voor de variant Alternatief 1b moet 12.600 m³ buffer-/infiltratievolume worden voorzien, wat overeenkomt met een bekken met een oppervlakte van 13.192 m². Voor de variant Alternatief 2a moet 15.000 m³ worden voorzien, wat overeenkomt met een bekken met een oppervlakte van 15.659 m².

Op de kaart (figuur 19) hebben bekken 1 en 2 samen een oppervlakte van 16.420 m², waardoor er wordt voldaan aan de voorwaarde voor beide varianten.

Overige zones

Om de wateroverlast in het stroomgebied van de Maalbeek verder op te lossen, zijn bijkomende maatregelen nodig. Op korte termijn kunnen er bufferbekkens worden aangelegd die zorgen voor bijkomend buffervolume op de waterlopen, waardoor er minder water op straat zal staan.

Op langere termijn moeten de opwaartse wijken worden afgekoppeld naar een gescheiden stelsel, waarbij het hemelwater eerst wordt gebufferd en geïnfiltreerd, volgens de bronmaatregelen en pas daarna afstroomt naar een transportstelsel. Verder onderzoek in de projectfase moet uitwijzen of het afvoerstelsel na deze ingrepen ook vergroot moet worden in capaciteit.

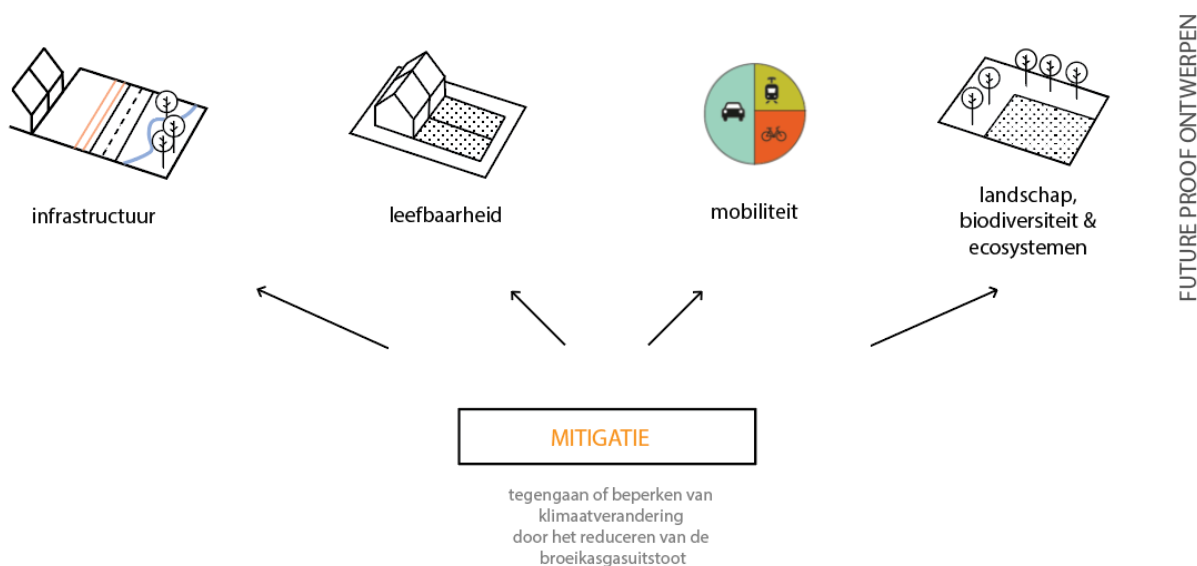


Figuur 34: Kaart van de waterkwantiteit en de overstromingsgevoelige gebieden van waterlopen gelegen rond de R0-Noord (Bron:Geopunt)

3.4.3. Klimaatmitigatie

Binnen het future-proofonderzoek is de volgende definitie omtrent ‘mitigatie’ opgenomen:

“Mitigatie is het tegengaan of het beperken van de klimaatverandering door het reduceren van de broeikasgasuitstoot.”



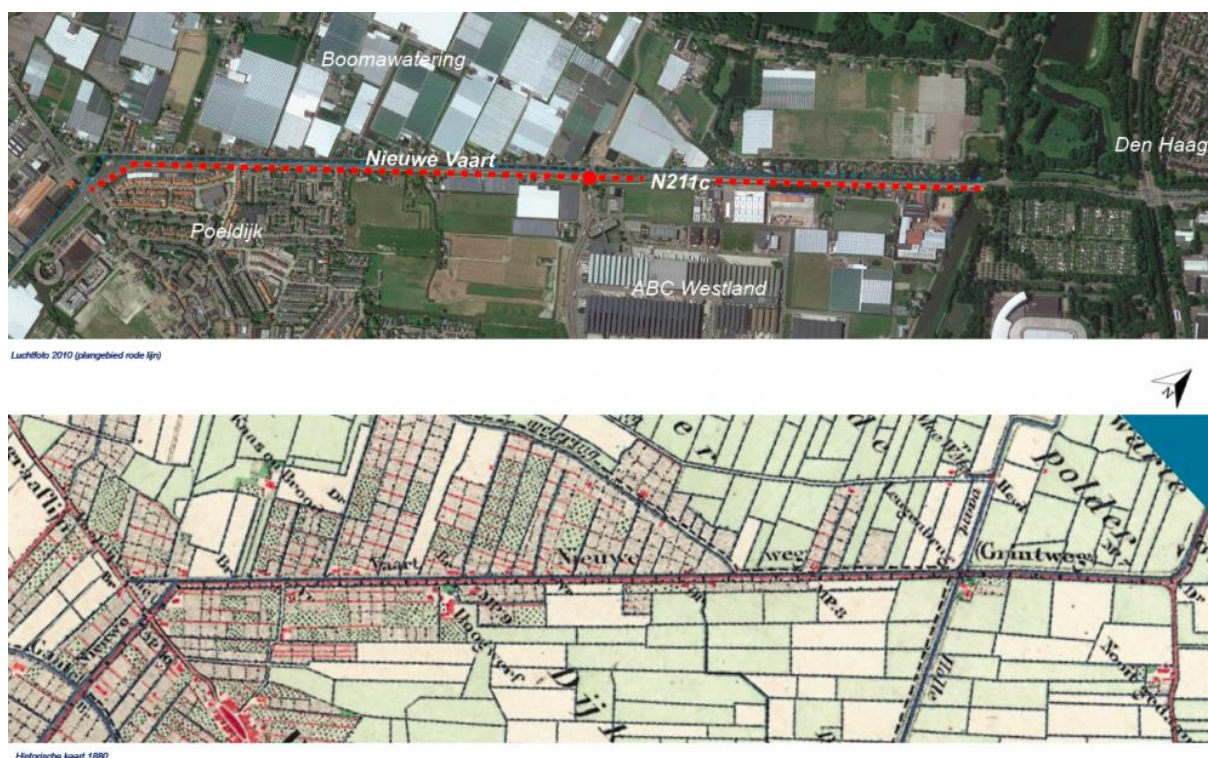
Figuur 35: Verschillende thema's omtrent 'mitigatie' (Bron: THV MoVeR0)

Diverse mitigerende maatregelen kunnen worden opgenomen omtrent de diverse thema's binnen mobiliteit (weginfrastructuur, fiets- en OV-infrastructuur) en leefbaarheid (bebouwde ruimte en groenblauw netwerk).

Inzake mitigerende maatregelen voor de weginfrastructuur bestaat een exemplarisch voorbeeld in Nederland: de weg N211¹⁴ tussen Den Haag en het Westland. Deze weg is de eerste CO2-negatieve weg: dit betekent dat er meer CO2 wordt opgevangen dan dat er vrijkomt.

Het voorbeeldproject heeft de volgende maatregelen opgenomen:

- er wordt energie gewonnen uit het wegdek, de energie wordt lokaal opgeslagen in het warmte-koudeopslagsysteem;
- de naburige bedrijven kunnen aansluiten op het warmtesysteem, zodat er warmte kan worden uitgewisseld;
- de lantaarnpalen en bushokjes wekken zelf energie op via zonnepanelen;
- de gebruikte materialen zijn hernieuwbaar of hergebruikt uit de oude weginfrastructuur (vb. betonnen damwanden hergebruikt in de fundering, verwijderde teerhoudende asfalt wordt in een veelbelovende test met schimmels gereinigd);
- er is ruimte voor de integratie van duurzame technologie en veldtesten van de duurzame oplossingen;
- bewustmaking van de kansen omtrent de klimaatdoelstellingen: de mensen en de markt met elkaar verbinden.



Figuur 36: Luchtfoto en historische kaart N211 (Bron: <https://www.baminfra.nl/projecten/n211-eerste-co2-negatieve-weg>)



Figuur 37: Innovatieve maatregelen inzake de CO2-negatieve weg (Bron: <https://www.baminfra.nl/projecten/n211-eerste-co2-negatieve-weg>)

¹⁴ N211 is ontworpen door Sweco in samenwerking met aannemersbedrijf BAM

3.5. Future-proofstrategieën klimaatadaptatie en -mitigatie

Kiezen voor:

- het verwerken van toekomstige klimaateisen in huidige plannen en projecten;
- het realiseren van verkoelingseilanden en verkoelingsassen langsheen hittegenererende infrastructuur, dit kan aan de hand van openruimtebestemmingen en ecologische verbindingen;
- het beperken van de verharde en niet-waterdoorlatende oppervlaktes door compacte infrastructuur;
- klimaatmitigatie door het ontwerpen van CO₂-neutrale of CO₂-negatieve infrastructuur;
- het integreren van klimaatadaptatieve maatregelen in de landschappelijke en functionele inpassing van de infrastructuur in de omgeving.

4. TREND: MAAS EN FYSIEKE INTERNET WORDEN STANDAARD MARKTMODELLEN

**Hub – Take off / Landing point for PAVs and arrival/departure point for PBVs.
Also serves as place for community activities
<http://worldwide.hyundai.com>*

PAV = Personal Air Vehicle

PBV = Purpose Built Vehicle



4.1. Kader: Mobiliteitshubs als cruciale schakels in de Smart Mobility van morgen

Bronnen:

livingtomorrow.com/insights-and-stories: Mobility hubs: crucial switches for tomorrow's smart mobility

Richard Dilks: Why mobility hubs are crucial to making transport more sustainable

Het basisidee van Smart Mobility of Slimme Mobiliteit is dat mensen vlot kunnen reizen vanaf hun voordeur naar eender welke bestemming door gebruik te maken van de juiste middelen, op maat gemaakt van de verplaatsing en de persoonlijke voorkeuren van de reiziger. Mobiliteitshubs vormen de ruggengraat van een dergelijk systeem. Het zijn plekken waar je kan overschakelen van het ene vervoerssysteem op het andere: trein, tram of bus, al dan niet gedeelde auto, fiets, scooter of step. Maar deze plekken kunnen ook andere voorzieningen aanbieden zoals flexibele werkplekken, sport- en fitnesszalen, eetgelegenheden, winkels en afhaalpunten voor pakketten en goederen. Om een echte slimme mobiliteit in de toekomst te kunnen uitrollen, is een dicht netwerk van dergelijke hubs onmisbaar.

Smart Mobility betekent ook Shared Mobility. Recent onderzoek toont aan dat de helft van de auto's minder dan 10.000 km per jaar aflegt. Meer en meer mensen beschouwen autobezit als een last in plaats van een lust. Maar ze wensen af en toe wel gebruik te maken van een auto. Bijvoorbeeld om naar bestemmingen te reizen die moeilijk met het openbaar vervoer te bereiken zijn of die te ver zijn om naar toe te fietsen. Dit publiek zal eerder opteren voor een deelauto. Van hieruit ontstaat de vraag naar parkings voor deelauto in of nabij residentiële gebieden en economische centra. Combineren we het idee van de deelauto met de elektrische auto, dan is een parking tegelijk ook een oplaadzone. Een nog verder gaande evolutie is dat dergelijke zones worden uitgebouwd tot nieuwe publieke plaatsen waar niet alleen deelauto's opgeladen en geparkeerd worden maar waar mensen elkaar ontmoeten, tijdelijk werken of recreëren. Lokale autoriteiten kunnen de ontwikkeling van dergelijke plaatsen faciliteren of ze zelf uitbouwen. Maar ook kantoren en bedrijven kunnen hun parkings omvormen en hiermee tegelijk hun infrastructuur efficiënter benutten en de band met de omgeving versterken.

Deelauto's zijn echter slechts een deel van het verhaal. Deelsystemen moeten aangepast zijn aan de omgeving en de ruimtelijke context. In het bijzonder in stedelijke omgevingen moeten bewoners toegang hebben tot micromobiliteit: via stedelijke hubs met een aanbod aan gedeelde fietsen, steps, scooters en dergelijke. Dit past in het concept van de 15-minuten stad, waarbij van thuis uit alle stedelijke voorzieningen zoals werk, winkels, cultuur, gezondheidszorg, scholen, sportvoorzieningen en ontspanning binnen de 15 minuten te voet of met de fiets bereikbaar zijn.

In dit concept van gedeelde mobiliteit op verschillende schaalniveaus, is er ook een belangrijke rol weggelegd voor het openbaar vervoer. Maar in tegenstelling tot vandaag, heeft het openbaar vervoer niet langer de ambitie om alle regio's te bedienen. Het wordt een onderdeel van het breed netwerk van mobiliteitsopties en is dus complementair aan het systeem van deelauto's en het concept van de micromobiliteit. Hierbinnen is een belangrijke rol weggelegd voor de 'hoppin-punten', waar reizigers kunnen overschakelen tussen verschillende transportmodi.

Als alle trends worden samengelegd, is de conclusie dat mobiliteitshubs cruciale elementen worden in de mobiliteit van de toekomst. Hubs kunnen vele vormen aannemen, ze variëren qua grootte, locatie en aanbod. Van kleine hubs in woonwijken, soms niet meer dan enkele plaatsen voor deelwagens, tot grote hubs gekoppeld aan belangrijke verkeersinfrastructuren en assen voor openbaar vervoer. In alle geval moeten er hubs komen waar vraag en aanbod samen komen.




Het uitbouwen van een netwerk van hubs zal resulteren in een schonere, leefbaardere en meer aangename leefomgeving. Meer zelfs, volgens Richard Dilks zijn ze cruciaal om te komen tot een duurzame mobiliteit. Aantrekkelijke hubs zullen de mensen aansporen om hun verplaatsingsgedrag te veranderen en vooral om het private autogebruik te verminderen. Een gedragswijziging kan pas massaal bereikt worden indien er voordelen zijn op het gebied van tijd, kost en comfort. Hierbij moeten fysieke hubs gecombineerd worden met hun *digital twin*: een volledig gedigitaliseerd systeem waarbij mensen hun verplaatsingen snel en gemakkelijk plannen, reserveren en betalen. Om uiteindelijk te komen tot een geïntegreerd systeem dat niet alleen sneller en gemakkelijker maar ook voordeliger is dan het gebruik van een individuele private wagen.

De technologie van het Internet of Things (IoT)¹⁵ of het Fysieke Internet faciliteert mee de uitbouw van de slimme mobiliteit. In de toekomst zullen autonoom rijdende wagens op onze wegen te zien zijn. IoT zal ook toegepast worden in logistieke ketens met geautomatiseerde connecties tussen de producent en de gebruiker, via het goederentransport.

Door de verdere uitbouw van mobiliteitshubs en de ontwikkeling van het IoT zullen toepassingen zoals MaaS en LaaS verdere ingang vinden in het mobiliteitsdenken en in de toekomst wellicht de standaard marktsystemen worden. Mobility as a Service (MaaS) staat voor een nieuwe vorm van mobiliteit, waarbij de consument toegang heeft tot mobiliteit in de vorm van diensten, in plaats van te investeren in het bezit van eigen transportmiddelen of het gebruik van losse diensten zoals openbaar vervoer. Kernwoorden hierbij zijn: toegankelijkheid, snelheid, betrouwbaarheid, betaalbaarheid, comfort, gemak en flexibiliteit. MaaS integreert verschillende vervoermiddelen, zowel publiek als privaat en het aanbod verloopt via een digitaal platform. De aanbieder legt de brug tussen de mobiliteitsvraag (de reiziger of gebruiker) en het mobiliteitsaanbod (de vervoerders). Voor goederentransport bestaat een gelijkaardig concept: Logistics as a Service (LaaS).

4.2. TRANSVER-concepten en principes

De ‘TRANSVER-studie’ heeft gebruikt gemaakt van de beschikbare trendanalyses en scenario-onderzoek. Inzake de maximale inzet voor ‘multimodale vervoersdiensten zijn de volgende trends zijn terug te vinden:

-  • Smart mobility
-  • E-commerce
-  • Deelsamenleving

Functioneel bovenlokaal netwerk van hubs



Figuur 38: Functioneel bovenlokaal netwerk van hubs (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

De huidige uitbouw van volwaardige overstappunten moet worden verder gezet. Een functioneel bovenlokaal netwerk van hubs richt zich op de efficiënte organisatie van personen- en goederenstromen door het verhogen van de meervoudige functionaliteit van de omslagpunten.

Mensen kiezen steeds vaker voor multimodale verplaatsingen waarbij ze de last mile realiseren met deelvoertuigen zoals step of fiets. Door de opkomst van de e-commerce bestaat het laatste deel van de logistieke keten uit veel verplaatsingen van kleine volumes die goederen tot aan de deur van de klant brengen. Om dit aantal afgelegde kilometers te beperken, zullen stedelijke consolidatiecentra een belangrijke rol spelen. Het is belangrijk in beeld te brengen welke locaties voor dergelijke centra geschikt zijn en om hiervoor een intensiveringsstrategie uit te werken.

De evolutie naar een ruimtezuinige modal shift in combinatie met Mobility as a Service zal nog meer transformatiemogelijkheden bieden in steden en dorpen. Hierbij wordt ook actief ingezet op de combinatie van autonoom rijden en autodelen. Het efficiënt gebruiken van de beschikbare vervoersruimte creëert een betere balans tussen de vervoersstromen en de kwaliteit van de leefomgeving. Modi die veel ruimte gebruiken of die

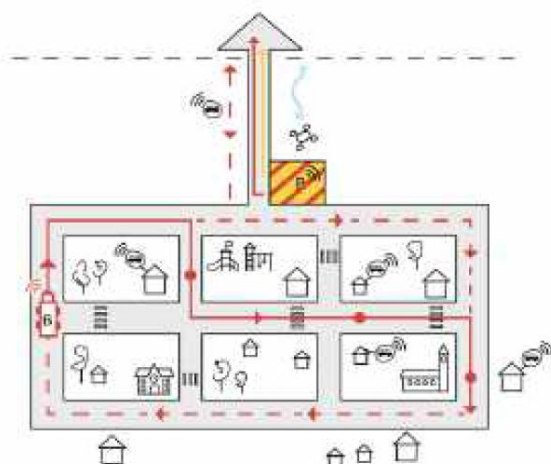
¹⁵ IoT wordt gedefinieerd als een netwerk van gerelateerde en geconnecteerde objecten die zelfstandig data verzamelen en verspreiden via een draadloos netwerk. (Kaat Vanrenterghem; All you need to know about the Internet of Things)

vervuilend zijn moeten worden geweerd. Dit kan door mee te bewegen op de verwachte evolutie in het mobiliteitssysteem waarbij meer verplaatsingen elektrisch, autonoom, divers en gedeeld worden. Het digitale netwerk en het energienetwerk moeten verder gemoderniseerd worden om de gewenste omslag te kunnen realiseren.

Concrete concepten:

- Modaliteit afstemmen op juiste schaalniveau, ketentransport;
- modi die veel ruimte gebruiken of vervuילend zijn weren uit de steden;
- multimodale overstap- en dienstencentra in de stadsrand (stations);
- kleinschalige overstap- en dienstenzones ontwikkelen als wijkcentra (mobipunten).

Slim lokaal vervoersnetwerk



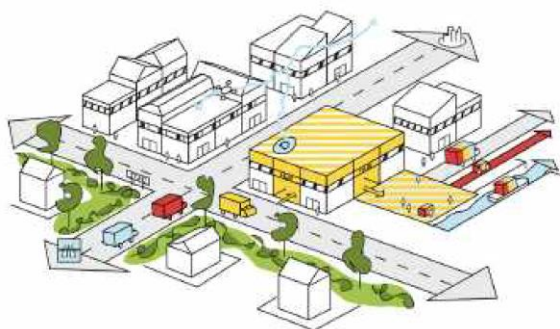
Figuur 39: Slim lokaal vervoersnetwerk (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

Een verhoging van de digitale connectiviteit, de opkomst van een meer autonoom rijdend en meer divers voertuigenpark en een versterking van het concept van de deelsamenleving, zullen het principe van Mobility as a Service (MaaS) naar een hoger niveau tillen. Op korte termijn moeten initiatieven rond hubs op buurtniveau en vervoer op maat gestimuleerd worden. Deze ontwikkelingen zullen niet alleen de toegankelijkheid en de verkeersafwikkeling optimaliseren maar ook bijdragen aan meer verkeersveiligheid en een betere leefbaarheid.

Concrete concepten:

- Hubs op buurtniveau voor stalling gedeelde autonome voertuigen en lokale ophaalpunten;
- routes voor autonoom collectief vervoer;
- lokale hubs aansluiten op slimme continentale verbindingen.

Efficiënte goederen- en materialenhubs



Figuur 40: Efficiënte goederen- en materialenhubs (Bron: TRANSVER-studie, Next Architects)

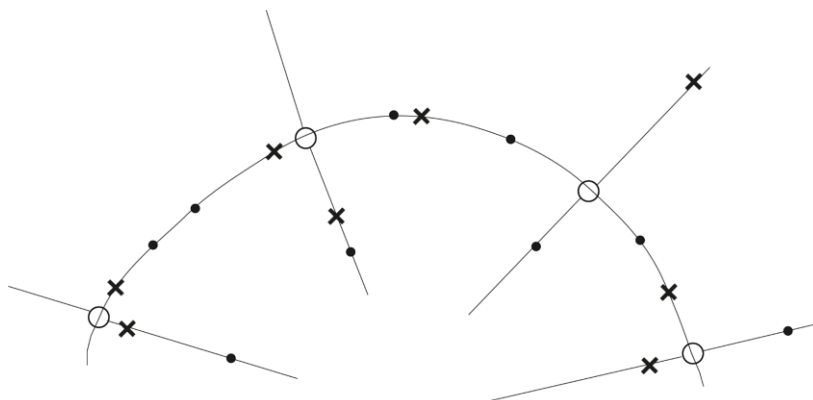
De bevoorrading van de bevolking en de bedrijven zal grondig wijzigen. De markt van de e-commerce groeit fors. De logistieke sector zal een meer divers voertuigenpark gaan inzetten. De vrachtwagen zal een belangrijke rol blijven spelen in de bevoorrading van hubs, maar ook hier zal de trend naar geëlektrificeerd en autonoom rijden zich doorzetten. Maar de stadsdistributie zal meer en meer gebruik maken van een breed gamma van voertuigtypes. Naast vrachtwagens en bestelbusjes zullen vooral pakketleveringen gebeuren met kleinere voertuigen zoals de elektrische fiets. Drones zullen een aanvullende rol opnemen voor de logistiek, in eerste instantie van gespecialiseerde goederen zoals medisch en micro-technologisch materiaal.

De schaarse ruimte en de hoge grondprijzen in stedelijke omgevingen zijn een pushfactor voor een meer intensief ruimtegebruik. Dit in combinatie met de verwachte groei van de logistieke sector. De evolutie naar een stiller en schoner voertuigenpark maakt nieuwe vormen van verweving mogelijk.

4.3. Toepassing R0-Noord

De ontwikkelingen van IoT, MaaS en Laas zijn in hoofdzaak technologische ontwikkelingen, essentieel voor de verdere uitrol van een slim en gedeeld systeem van mobiliteitsdiensten. Ze hebben weinig tot geen invloed op het voorkomen van de infrastructuur of de omgeving. De uitbouw van een netwerk van multimodale hubs voor personen- en goederenverkeer is echter cruciaal voor het welslagen van dit project. Dit heeft uiteraard wel een belangrijke impact op het ruimtelijke voorkomen van de infrastructuur en vooral op de omgeving.

Het netwerk bestaat uit een ruim aantal hubs op verschillende schaalniveaus, gaande van grote regionale tot internationale, over randstedelijke tot lokale of zelfs buurtgebonden overstappunten. De omgeving van de R0-Noord neemt hierin een potentieel strategische positie in vanwege haar ligging in of aan de rand van de stad. Dit leidt tot het idee van de R0-Noord als drager van een 'kralensnoer' van hubs, een opeenvolging van hubs op verschillende schaalniveaus en met verschillende functies, zowel voor goederen- als voor personenvervoer.

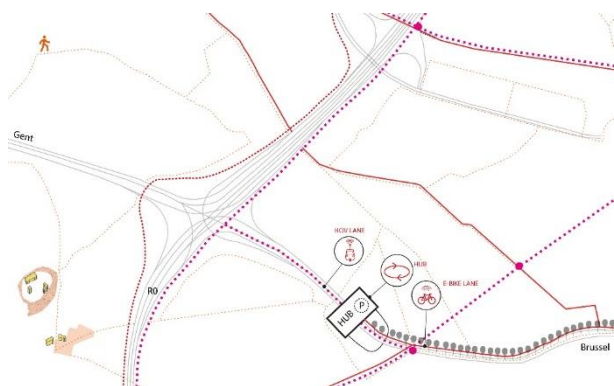


Figuur 41: Concept van een kralensnoer van mogelijke hubs langs de R0-Noord

Voor het project van de R0-Noord komen voor dergelijke 'geïntegreerde hubs' een aantal mogelijke locaties in beeld, waar bij voorkeur verschillende modi reeds voorhanden zijn of waar tevens een uitwisseling kan ontstaan tussen verschillende schaalniveaus en werkingsgebieden, bijvoorbeeld een overgang van snelweginfrastructuur naar stedelijke parkways.

In de eerste plaats komt de omgeving van een verkeerswisselaar in aanmerking voor de uitbouw van een hub. In een verkeerswisselaar gebeurt immers een verknoping van de regionale snelwegen met de Ring en met de stedelijke invalswegen.

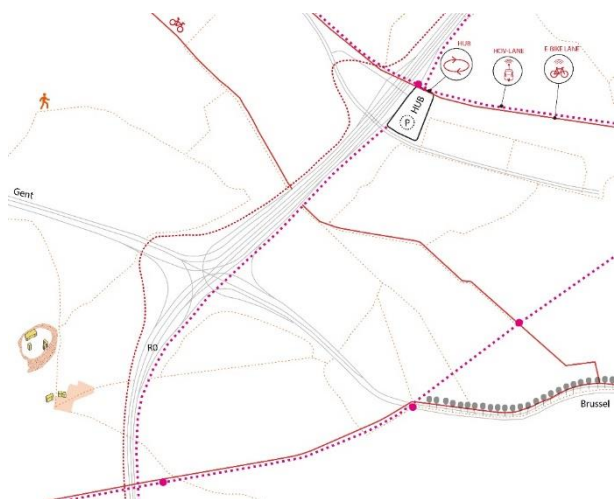
Een traditioneel vormgegeven verkeerswisselaar, type 4/4 knoop, biedt dankzij de compacte vormgeving reeds mogelijkheden om een hub in of nabij de knoop te integreren. Grotere hubs zullen eerder op enige afstand van de knoop ontwikkeld worden. Aan de binnenzijde van de Ring heeft dit als voordeel dat kan aangesloten worden op stedelijke verkeersassen maar ook andere stedelijke vervoerssystemen waaronder het openbaar vervoersnetwerk en het binnenstedelijke langzaam verkeersnetwerk.



Figuur 42: Mogelijke locatie van een hub bij een 4/4 verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden, gelegen langs de invalsweg richting Brussel



Figuur 43: Mogelijke locatie van een hub bij een 3/4 verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden, aansluitend bij de verkeerswisselaar



Figuur 44: Mogelijke locatie van een hub bij ASC 10 (Zellik)

De variant van de 3/4 -wisselaar of b-knoop geeft in theorie meer mogelijkheden om de hub te integreren in of aansluitend bij de wisselaar. Niet alleen is deze variant compacter waardoor er meer ruimte ontstaat voor het uitbouwen van een hub, deze variant maakt ook de overgang tussen het snelwegstelsel en het stedelijke verkeersstelsel met 'stadboulevards' in de knoop, waardoor dit een geschikte locatie wordt voor overslag en de uitwisseling tussen beide systemen.

Weliswaar moeten de concrete mogelijkheden voor inplanting van een hub en haar aansluiting op de verschillende verkeerssystemen geval per geval verder onderzocht worden. Hoe dit kan worden ingevuld, hangt van een groot aantal (onzekere) factoren af, onder andere de verdere uitbouw van het OV-netwerk en de evoluties in geautomatiseerde vervoerssystemen, ook op het gebied van logistiek. Het feit alleen dat een 3/4-knoop compacter is, betekent niet noodzakelijk dat ze geschikter is om er een hub aan te koppelen.

Aansluitingscomplexen komen vooral in aanmerking voor lokale hubs, van waaruit een rechtstreekse uitwisseling van personen en goederen kan gebeuren met de aansluitende kernen en wijken. Indien deze hubs aangetakt kunnen worden op het lokaal netwerk van openbaar vervoer en langzaam verkeer, kunnen ze bijkomend ook een bovenlokale functie vervullen.

In alle gevallen faciliteert een compact ontwerp van de verkeersinfrastructuur zelf de uitbouw van een hub. Door het beperken van het ruimtebeslag van de infrastructuur, komt ruimte vrij om multimodale hubs uit te bouwen gekoppeld aan de Ring. Met andere woorden, hoe compacter de infrastructuur, hoe groter de potentie om de R0-Noord effectief te kunnen inschakelen in een multimodaal netwerk van vervoersdiensten voor personen en goederen, geoperationaliseerd via digitale en gepersonaliseerde MaaS en LaaS toepassingen. Dit sluit aan bij de analyse betreffende de evolutie naar autonome vervoerssystemen in hoofdstuk 2.

Met name de randstedelijke en lokale multimodale hubs kunnen ingezet worden voor zowel het personen- als goederenvervoer en uitgebouwd worden als multifunctionele stadsprojecten. Dit vertaalt zich in het concept van de meervoudige functionaliteit van een hub. Het is niet louter een overstapinfrastructuur maar een dynamische multifunctionele plek waar de uitwisseling van personen en goederen als basisfunctie wordt aangevuld met andere sociale, economische en recreatieve activiteiten zoals tijdelijke werkplekken, ontmoetings- en vergaderruimtes, afhaalpunten voor goederen, sportvoorzieningen en dergelijke meer. Ter illustratie hieronder enkele bestaande of ontworpen hubs wereldwijd met een ruim scala aan functionaliteiten en doeleinden.



Figuur 45: Referentiebeelden multifunctionele mobiliteitshubs

De verdere uitbouw van MaaS en LaaS kan niet los gezien worden van de evoluties naar meer autonome en geconnecteerde vervoerssystemen. De ontwikkeling van het IoT is de essentiële schakel tussen beide evoluties. Dit betekent dat toekomstige hubs ook faciliteiten zullen voorzien voor geautomatiseerde en gedeelde vervoerssystemen zoals zelfrijdende deelwagens, drones of geautomatiseerde openbaar vervoerssystemen. Concrete voorbeelden zijn tijdelijke parkeervoorzieningen door zelfrijdende voertuigen, droneports en haltes voor hoogwaardig openbaar vervoer. Ook vanuit deze invalshoek genereert het compacteren van de verkeersinfrastructuur, met name de verkeerswisselaars en de aansluitingscomplexen, extra potenties voor de uitbouw van het netwerk van multimodale hubs.

4.4. Future-proofstrategieën multimodale hubs

Kiezen voor:

- compacte verkeerswisselaars en aansluitingscomplexen die mogelijkheden bieden voor aangekoppelde hubs;
- het onderzoeken van mogelijkheden voor inplanting hubs vanuit netwerkgedachte (principe kralensnoer);
- het reserveren van ruimte rondom plaatsen die multimodaal goed ontsloten zijn of zullen worden.

5. WRAP-UP

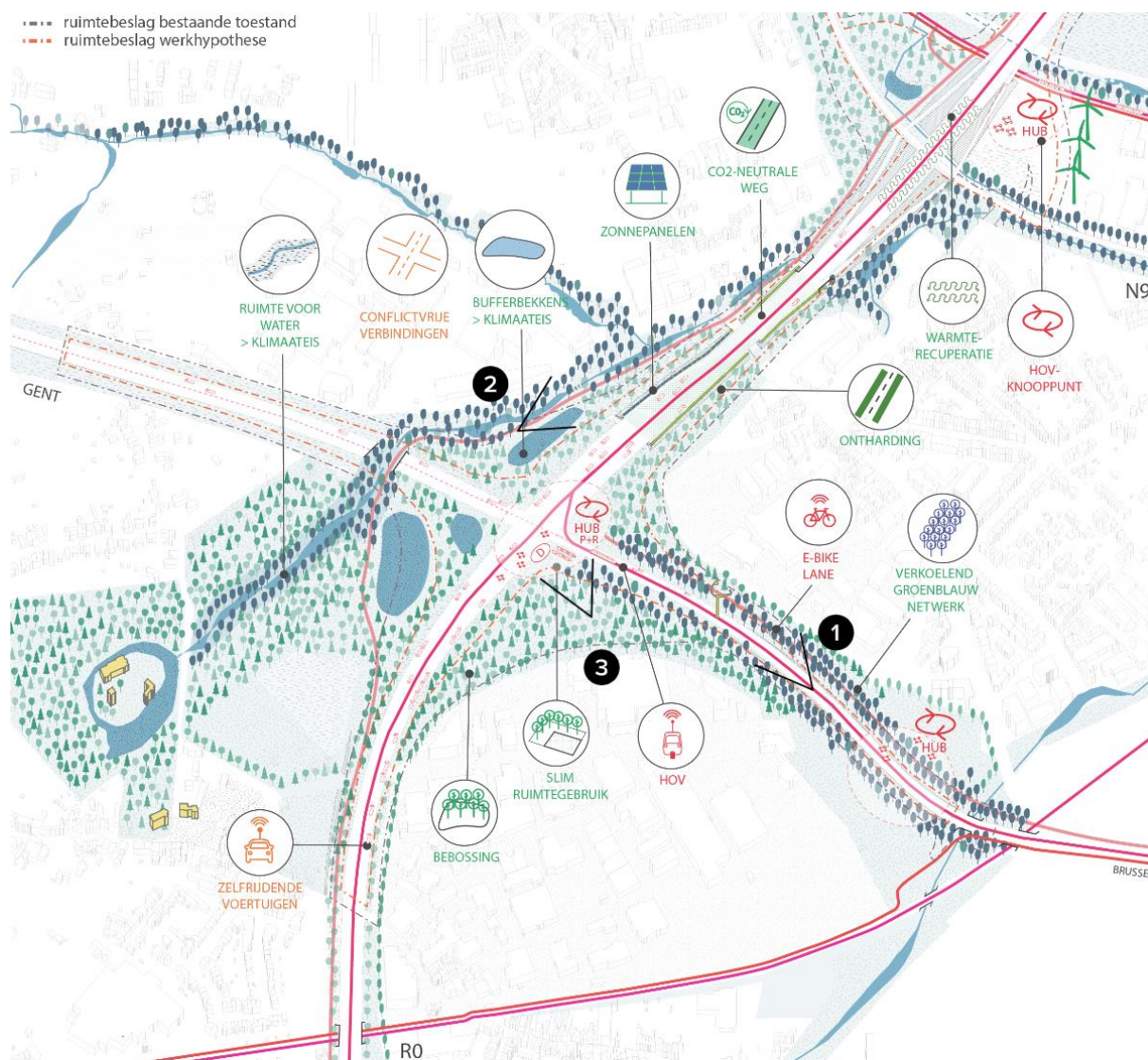
5.1. Future-proofverBEELDingEN

De geïntegreerde ‘future-proofbenadering’ toont de opportuniteiten van een compactere infrastructuur aan, alsook de maximale inzetbaarheid op vlak van flexibiliteit en aanpasbaarheid. De ruimtewinst kan zowel benut worden in het kader van klimaatadaptatie als van multimodaliteit, gekoppeld aan de autonome vervoerssystemen.

De 3 trends (autonome vervoerssystemen, klimaatverandering en multimodale vervoersdiensten) bevatten diverse thema’s, weergegeven door de iconen, die geïntegreerd worden getoond op de ruimtelijke verbeelding en de visualisaties. Deze visualisaties tonen een mogelijks en dus **imaginair toekomstbeeld**. Vandaar gebruiken we de term future-proof beelden of -verbeeldingen.



Figuur 46: Thema's binnen de 3 future-prooftrends en ontwikkelingen



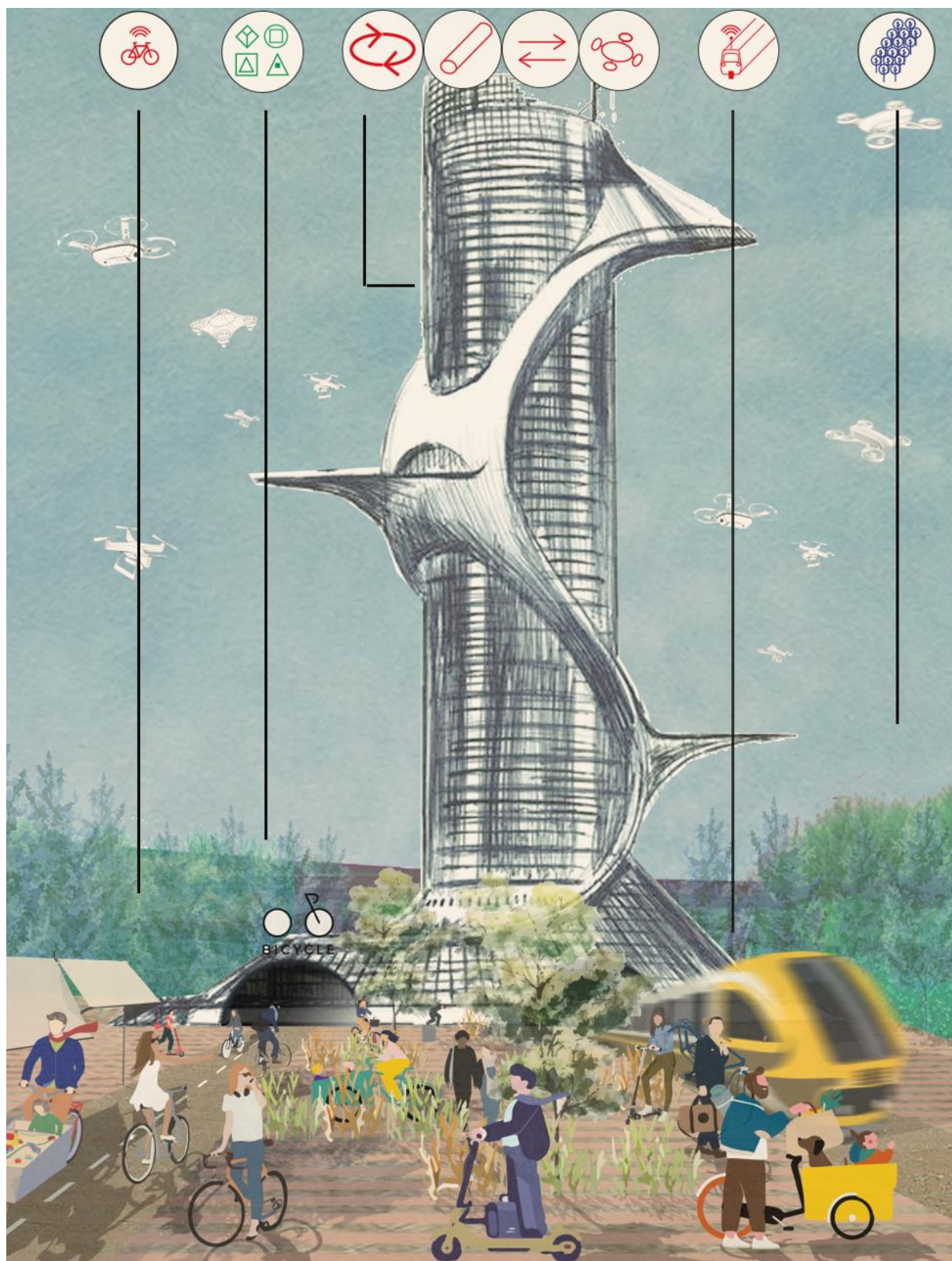
Figuur 47: Future-proofverBEELDing van de omgeving verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden



Figuur 48: Future-proofverBEELDing autonome vervoerssystemen (vanop de A10 richting verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden)



Figuur 49: Future-proofverBEELDing klimaatadaptieve maatregelen (vanop de buitenzijde van de verkeerswisselaar R0/E40W in Groot-Bijgaarden)



Figuur 50: Future-proofverbeelding met multimodale en multifunctionele hub

5.2. Future-proof Toolbox

Vanuit het onderzoek omtrent ‘future-proof’ werd deze ‘toolbox’ (instrumentenkoffer) opgemaakt om ‘toekomstrobust’ de R0-Noord te ontwerpen.

De ‘**adaptieve**’ maatregelen zorgen voor de aanpassing van de natuurlijke en menselijke systemen aan de huidige en te verwachten gevolgen van de klimaatverandering. Deze maatregelen zijn reeds in verschillende onderdelen van het project aanwezig.

De volgende maatregelen worden per thema (zie Klimaatportaal Vlaanderen) voorgesteld:

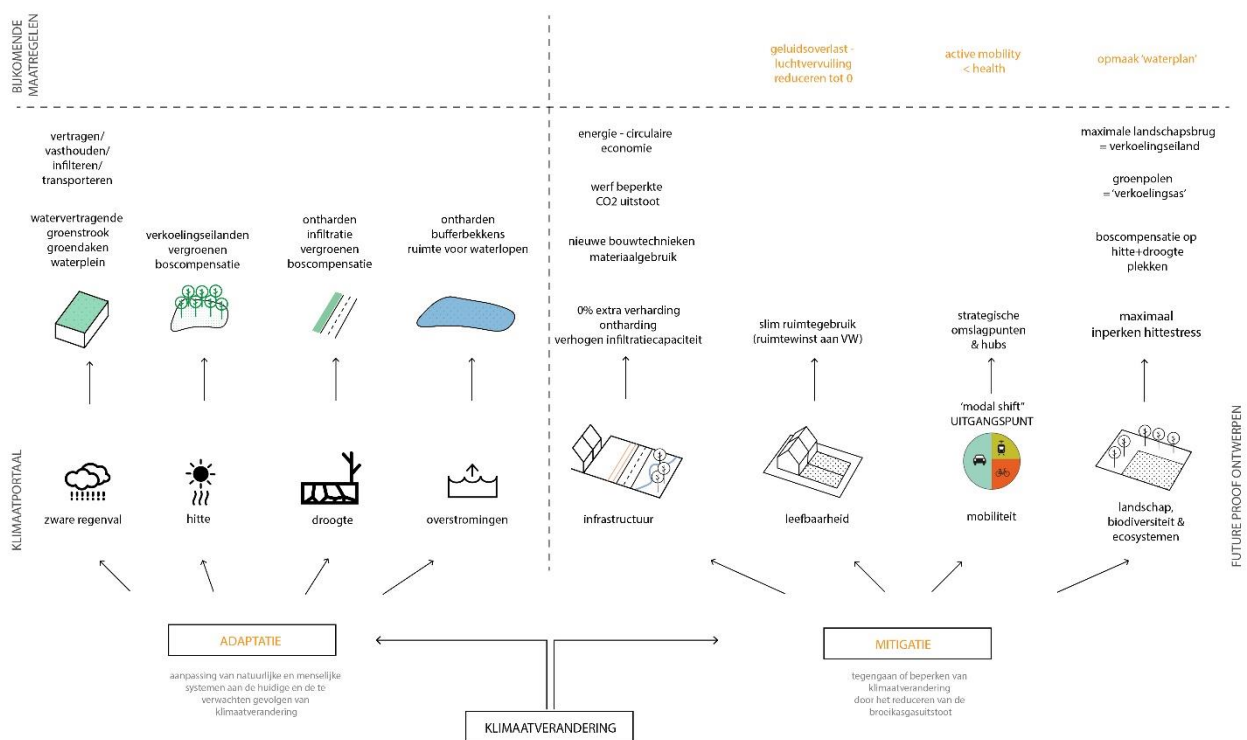
- Zware regenval: water vertragende groenstrook, groendaken, waterplein, water infiltreren, vertragen en vasthouden of bufferen en eventueel transporteren;
- Hitte: Verkoelingseilanden, vergroenen, voorzien van bijkomende boscompensatie;
- Droogte: Ontharden van de infrastructuur, vergroenen, voorzien van bijkomende boscompensatie;
- Overstromingen: ontharden van de infrastructuur, bufferbekkens voorzien, ruimte voor de waterlopen (geen inkokering).

De ‘**mitigerende**’ maatregelen zorgen voor het tegengaan of beperken van de klimaatverandering door het reduceren van de broeikasgasuitstoot, deze maatregelen vereisen een hoog ambitieniveau.

De volgende maatregelen worden voor de verschillende thema’s binnen de plandoelstellingen voorgesteld:

- Infrastructuur: ontharding, nieuwe bouwtechnieken en -materialen, werf met CO2-neutrale uitstoot, circulaire economie en energie;
- Leefbaarheid: slim ruimtegebruik, ruimtewinst aan de verkeerswisselaars;
- Mobiliteit: ‘ambitieuze modal shift’ (AMS) als uitgangspunt, strategische hubs en omslagpunten voorzien langsheen de infrastructuur van de R0-Noord;
- Landschap, biodiversiteit & ecosystemen: maximaal inperken van hittestress, boscompensatie voorzien op hitte- en droogteplekken, groenpolen als verkoelingsassen ontwerpen, landschapsbrug als verkoelingseiland ontwerpen

Diverse maatregelen kunnen in de projectfase van de R0-Noord worden meegenomen en verder uitgewerkt.



Figuur 51: Toolbox klimaatbestending ontwerpen

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de future-proofverkenning *Loop 1* werden de verdere ontwikkeling van autonome vervoerssystemen, het doorzetten van de klimaatwijziging en het doorbreken van MaaS en LaaS als de standaard voor vervoersdiensten, geselecteerd als de meest relevante toekomstontwikkelingen op de lange termijn. De future-proofverkenning *Loop 2* focust op de ruimtelijke en infrastructurele doorwerking van deze trends en evoluties. De TRANSVER-studie van het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid vormt het intermediair tussen de algemene theoretische benadering en de concrete toepassing op de alternatieven en varianten voor de ruimtelijke herinrichting van de R0-Noord. Voor de gebiedsgerichte vertaling wordt de omgeving van de verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden als case-study gehanteerd.

De mate waarin een alternatief of variant als future-proof beschouwd kan worden, wordt bepaald door zowel het concept van het infrastructuurontwerp zelf als door de potentie voor de toekomstige duurzame ontwikkeling van de omgeving.

Robuust en flexibel ontwerpen van de infrastructuur

Een future-proof infrastructuurontwerp is zowel robuust als flexibel. De robuustheid of veerkracht verwijst naar de capaciteit van de infrastructuur om haar normale werking te behouden of te hernemen tijdens of na onvoorziene evoluties of gebeurtenissen. Dit omvat bijvoorbeeld de capaciteit om te weerstaan aan klimaatveranderingen, overstromingen of zelfs terroristische aanslagen. De veerkracht of robuustheid wordt ook bepaald door de mate waarin de infrastructuur nieuwe functies of andere noden aankant, zonder ingrijpende structurele wijzigingen door te voeren. Dit laatste sluit al aan bij het aspect van de flexibiliteit. Deze eigenschap verwijst naar de mogelijkheden van de infrastructuur om in te spelen op een onverwachte of onzekere toekomst. Dit betekent vandaag al rekening houden met toekomstige noden op het gebied van capaciteit, geschiktheid, bruikbaarheid en wenselijkheid. De aanpasbaarheid of flexibiliteit wordt bepaald door de mate waarin de infrastructuur (gemakkelijk) aangepast kan worden om nieuwe functies op te nemen of om in te spelen op een gewijzigde omgeving.

Uit de future-proofverkenning *Loop 2* blijkt dat vooral een flexibel aan te passen ontwerp de infrastructuur toekomstbestendig maakt. Er wordt niet (noodzakelijk) gestreefd naar bijkomende capaciteit, wel naar meer flexibele capaciteit. Dit wordt het best bereikt door het wegontwerp te benaderen als een obstakelvrij vlak dat al naar gelang de vraag en noden eenvoudig ingedeeld of georganiseerd kan worden. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld opeenvolgende transitieperiodes in de evolutie naar volledig autonoom rijden worden opgevangen of kan de infrastructuur ingezet worden voor nieuwe vormen van geautomatiseerd, al dan niet collectief vervoer. Alle alternatieven spelen hier in grote mate op in. Zeker het lightsysteem, maar ook de alternatieven met parallelwegen omdat die uitgaan van het maximaal bundelen van de doorgaande en de lokale wegen. Op gebied van autonoom rijden, zijn fundamentele vereenvoudigingen aan de infrastructuur pas mogelijk als de technologie algemeen ingevoerd is. Dit neemt niet weg dat er nu rekening mee gehouden kan worden door de infrastructuur al maximaal te vereenvoudigen. Dit houdt in dat men best kiest voor de meest eenvoudige wisselaars en aansluitingscomplexen of voor systemen die geleidelijk aan verder vereenvoudigd en gecompacteerd kunnen worden. Complexe verkeersknopen zijn minder adaptief.

Hierin zit ook een link met het klimaataspect. Het beperken van het ruimtebeslag en de verhardingsgraad beantwoordt het best aan de klimaateisen. Compacte, eenvoudige infrastructuren en kunstwerken zijn duurzamer wat betreft het aanboren van grondstoffen en materialen voor de bouw, het herstel en het onderhoud, wat eveneens een klimaatmitigerend aspect is.

Intelligent en toekomstgericht compacteren van de infrastructuur

Om op termijn zowel zware wateroverlast als verdere opwarming van de omgeving te vermijden, blijven ontharding en terugdringen van het ruimtebeslag belangrijke instrumenten. Dit ligt in lijn met het de visie van het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen en met de klimaatplannen op Europees, nationaal en regionaal niveau. Maar een compact infrastructuurontwerp is niet per definitie future-proof. De vraag is vooral hoe de ruimtewinst intelligent kan ingezet worden in het kader van toekomstige evoluties op het vlak van klimaat, mobiliteit en verkeer.

De klimaatrobustheid wordt versterkt door de klimaatadaptieve maatregelen niet alleen af te stemmen op de verwachte evoluties rond hitte, droogte en neerslag maar ook in te bedden in de fysieke omgeving van de infrastructuur. Extra buffercapaciteit kan efficiënter ingezet worden in of nabij zones met een gekende overstromingsproblematiek, om sterk bebouwde en verharde gebieden te behoeden voor zware overstromingen en in gebieden met een fijnmazig netwerk van waterlopen om het groen-blauw netwerk in de omgeving van de R0-Noord verder te versterken. Wat betreft hittestress zijn de reële mogelijkheden om de temperatuursbeïnvloeding van de infrastructuur op de omgeving te milderen eerder beperkt. Toch kan resultaat geboekt worden door het oordeelkundig inplanten van bijkomend bos op strategische plaatsen rondom de verkeersinfrastructuur en deze bosfragmenten te koppelen via een ‘verkoelingsnetwerk’, complementair aan het groen-blauw netwerk en het langzaam verkeersnetwerk langsheen de Ring.

De verdere uitbouw van autonome en geconnecteerde vervoersdiensten volgens de MaaS en LaaS-principes, introduceert bijkomende ruimtelijke programma’s, waarvan de uitbouw van een gediversifieerd netwerk van multimodale hubs de grootste impact op de ruimtelijke structuur zal hebben. Over de concrete vorm en locatie van dergelijke hubs doet de future-proofverkenning geen uitspraak. Er wordt immers uitgegaan van een geconnecteerd combimodaal netwerk, waardoor bijna elke plek in aanmerking komt voor een bepaalde vorm van hub, gaande van grote regionale overstap- en overslagpunten tot kleinschalige buurtgebonden uitwisselpunten tussen verschillende vervoerssystemen. Veel relevanter dan de vraag of er hubs moeten voorzien worden langsheen de R0-Noord, is het onderzoek naar de mogelijkheden om de R0-Noord in te schakelen in het netwerk van multimodale hubs zodat de Ring de uitbouw van de toekomstige ‘smart en shared mobility’ mee kan ondersteunen. De concrete ruimtewinst die de verschillende alternatieven en varianten boeken, creëert alvast potenties voor het verder uitbouwen van het netwerk van hubs. De aansluitingscomplexen en de verkeerswisselaars komen prioritair in aanmerking. Door de ligging van de R0-Noord op de rand van de stad, bekleedt ze een strategisch positie voor de uitwisseling van personen en goederen, met name tussen het regionale en het stedelijke schaalniveau. Aansluitingscomplexen en verkeerswisselaars waarin deze overgang geïntegreerd is, bieden bijkomende opportuniteiten voor het verder diversifiëren van het combimodaal netwerk.

Nood aan een integrale future-proof ontwerp benadering

Extra waterbuffers, bijkomende bebossing, de bouw van multimodale hubs, infrastructuur voor autonome voertuigen,... Het lijkt alsof de future-proofbenadering alleen maar bijkomende ruimteverslindende programma’s introduceert, wat diametraal zou staan tegenover de ambitie om het ruimtebeslag en de barrièrewerking van de Ring te verminderen. Toch hoeft er op zich geen tegenspraak te zijn, indien het future-proof ontwerpvragestuk geïntegreerd benaderd wordt, zowel bekeken vanuit de infrastructuur als vanuit de omgeving. Ten eerste creëert het maximaal compacteren van de verkeersinfrastructuur volgens de actuele ontwerprichtlijnen, mogelijkheden voor het koppelen van nieuwe functies en programma’s aan de R0-Noord. Ten tweede leiden de technologische ontwikkelingen in de vervoerssystemen tot een verdere optimalisatie van het gebruik van de infrastructuur. Bijkomende ontwikkelingen kunnen dus binnen het huidige, reeds gecompecteerde ruimtebeslag uitgebouwd worden. Tenslotte zullen elementen, zoals multifunctionele hubs of verkoelingsassen met geïntegreerde fietssnelwegen, de ruimtelijke en functionele barrièrewerking van de Ring milderen omdat de interactie en uitwisseling met de omgeving versterkt wordt.

Het is daarom essentieel om de verschillende trends en ontwikkelingen niet autonoom te behandelen en programmatorisch te vertalen. Integendeel, men moet alle relevante trends op een integrale manier samen benaderen en ontwerpmatig vertalen. Dit resulteert in de ‘future-proof toolbox’; een instrumentenkoffer van concrete ideeën en ingrepen die bij de verdere uitwerking van het project voor de herinrichting van de R0-Noord toegepast zal worden (en bij uitbreiding eigenlijk voor elk ander infrastructuurproject gebruikt kan worden). Een andere illustratie van het geïntegreerd toekomstgericht denken, zijn de future-proofverBEELDingEN. Ze geven een illustratie van de langetermijnevolutie, rekening houdend met de verwachte trends en ontwikkelingen. De toolbox en de verBEELDingEN zijn een vorm van ‘wrap-up’, het samenvatten en inpakken van de inzichten van de future-proofverkenningen *Loop 1* en *Loop 2* in een totaalpakket en totaalbeeld. Eens ingepakt, is dit pakket klaar voor verzending naar beleidsverantwoordelijken, ontwerpers, deskundigen, al dan niet met autonoom vervoer en passerend via een multimodale hub.

7. FUTURE PROOFVERKENNING VOCAV

De voorgedragen combinatie van alternatief en varianten (VoCAV) bestaat uit alternatief 3 met de a-knopen voor de verkeerswisselaars GBG en A12 en de a' knoop voor de verkeerswisselaar SSW. Voor ASC 9 wordt de variant van de SPI met noordelijke tak toegepast en de R22 is aangekoppeld op de R0. Voor alle andere locatiegebonden varianten geldt de basisconfiguratie.

De future-proofverkenning VoCAV bouwt verder op de drie meest relevante trends en ontwikkelingen die in de reeds in de future-proofverkenning Loop 1 werden geselecteerd: **nieuwe technologieën en connectiviteit, klimaatwijziging en slimme, geïntegreerde mobiliteit**. Deze werden gekozen omdat blijkt dat ze op zowel globaal, Europees als Vlaams niveau relevant zijn en tevens omdat er uit deze trends relatief concrete en goed te omschrijven veranderingen kunnen afgeleid worden.

Trend 1 - Flexibiliteit van de ringinfrastructuur - Potentie om in te spelen op toekomstige vervoerswijzen en vervoerssystemen, met de nadruk op het doorbreken van autonome systemen.

In de zone Wemmel en Vilvoorde vinden we een gebundeld systeem dat eenvoudig flexibel is in te delen, dit heeft een grote potentie om in te spelen op de toekomstige vervoerswijzen en vervoerssystemen met de nadruk op het doorbreken van autonome systemen. In de zone Zaventem is een gebundeld systeem eenvoudig flexibel in te delen, t.h.v. de verkeerswisselaars en de aansluitingscomplexen wordt het echter complexer voor de parallelle infrastructuur.

Trend 2 - Adaptiviteit en flexibiliteit van de infrastructuur en de omgeving ten opzichte van verschillende fenomenen gerelateerd aan klimaatverandering

In de zone Wemmel en Vilvoorde besluit de future-proofverkenning en het plan-MER dat er een hoge mate van klimaatadaptiviteit is zowel op het gebied van het omgaan met evoluties op het gebied van extreme weersomstandigheden als op het gebied van het voorkomen of milderen van negatieve klimaatimpact.

In de zone Zaventem is de future-proof-verkenning en het plan-MER nadelig voor het beheersen van verwachte gevolgen van de klimaatverandering op het gebied van hitte en neerslag maar vertoont wel hoge graad van flexibiliteit op het gebied van het lokaal milderen of voorkomen van negatieve klimaatimpact. De aankoppeling van de R22 aan de Ring zorgt voor een afname in adaptiviteit.

Trend 3 - Mogelijkheid tot invulling van de infrastructuur in gewijzigde toekomstscenario's in het bijzonder m.b.t. duurzame en multimodale modi

Deze trend is tweeledig:

- Faciliteren van multimodale bereikbaarheid van hubs voor personenvervoer en logistiek, op verschillende schaalniveaus
- Aanpasbaar aan toekomstige multimodale vervoerswijzen en mobiliteitsdiensten

Er is meer ruimte voor de creatie van hubs nabij wisselaars en knopen door de toegenomen compactheid. De complexe knopen bemoeilijken echter de koppeling met efficiënte hubs op de verschillende schaalniveaus.

Future-proof toolbox

Het is essentieel om de verschillende trends en ontwikkelingen niet autonoom te behandelen en programmatorisch te vertalen. **Integendeel, men moet de relevante trends op een integrale manier samen benaderen en ontwerpmatig vertalen.**

Dit resulteert in de 'future-proof toolbox'; een instrumentenkoffer van concrete ideeën en ingrepen die bij de verdere uitwerking van het project voor de herinrichting van de R0-Noord toegepast zal worden (en bij uitbreiding eigenlijk voor elk ander infrastructuurproject gebruikt kan worden).

Bijlage 1 Literatuurlijst

City Science Corporation: Roads for the future – Dedicated driverless spaces, 2018

Dilks, Richard: Why mobility hubs are crucial to making transport more sustainable

Klimaatportaal: <https://klimaat.vmm.be/>

livingtomorrow.com/insights-and-stories: Mobility hubs: crucial switches for tomorrow's smart mobility

Next Architecten ; TRANSVER einddocument, 14 juli 2020

TNO – Royal Haskoning DHV i.o.v. Kennisplatform CROW en Rijkswaterstaat, WVL; Rapport zelfrijdend auto's – Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen, 03/Finale versie; 2016

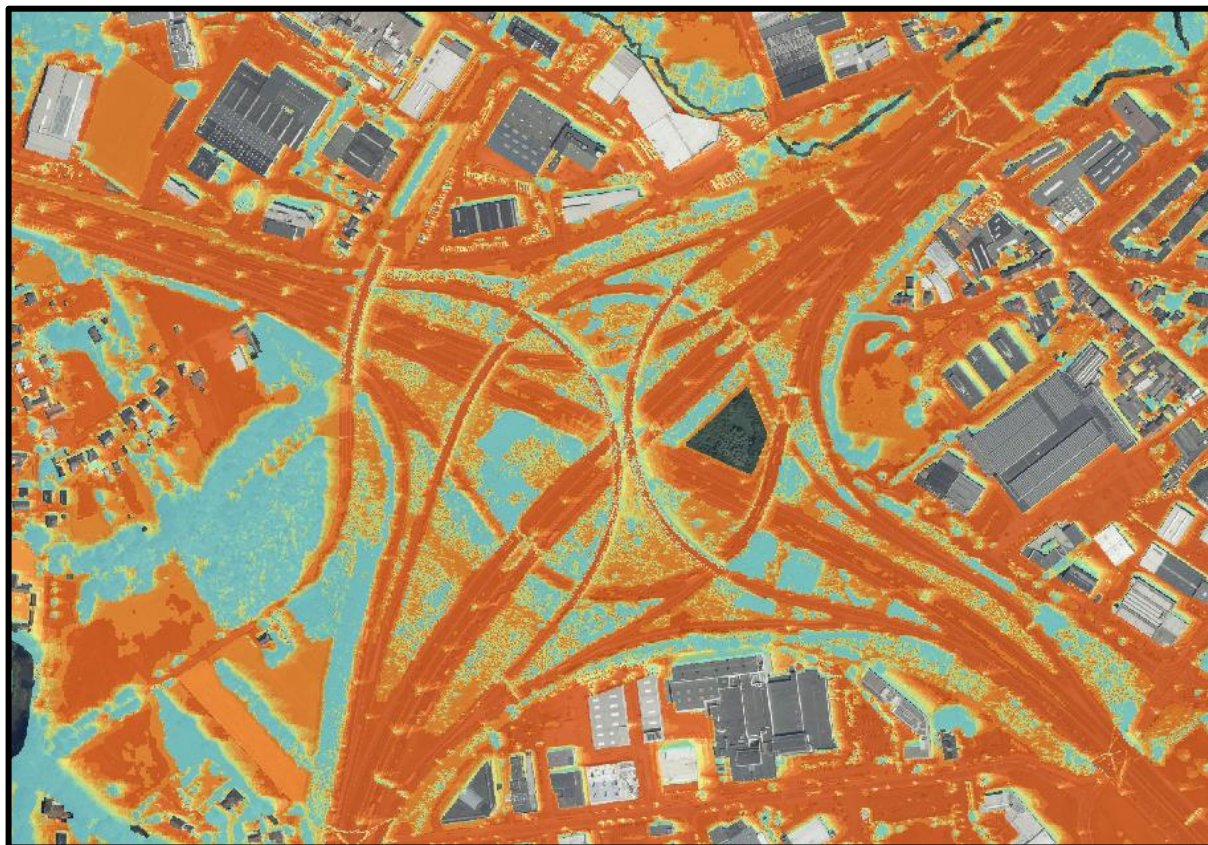
Vanreenterghem, Kaat; All you need to know about the Internet of Things

worldwide.hyundai.com

www.baminfra.nl/projecten/n211-eerste-co2-negatieve-weg

Bijlage 2 Opbouw hittestressmodel

R0-Noord future-proof: hittestresskaarten

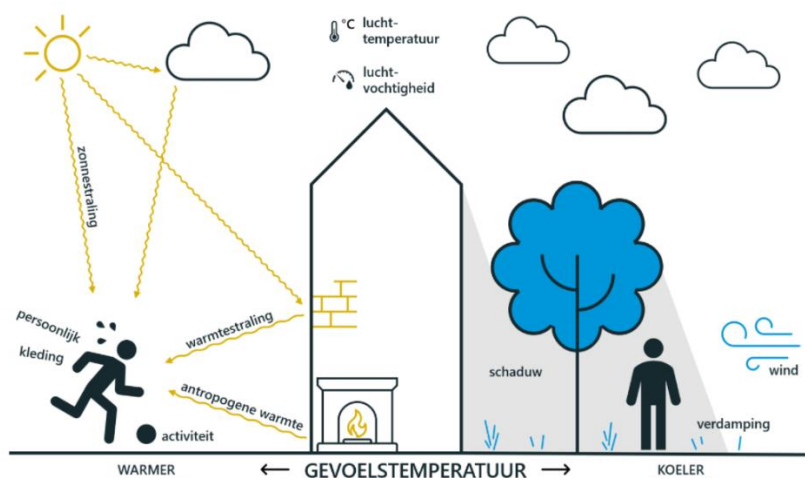


Figuur 52: Testcase verkeerswisselaar Groot-Bijgaarden variant G1b en G2a

1. DATA EN METHODE

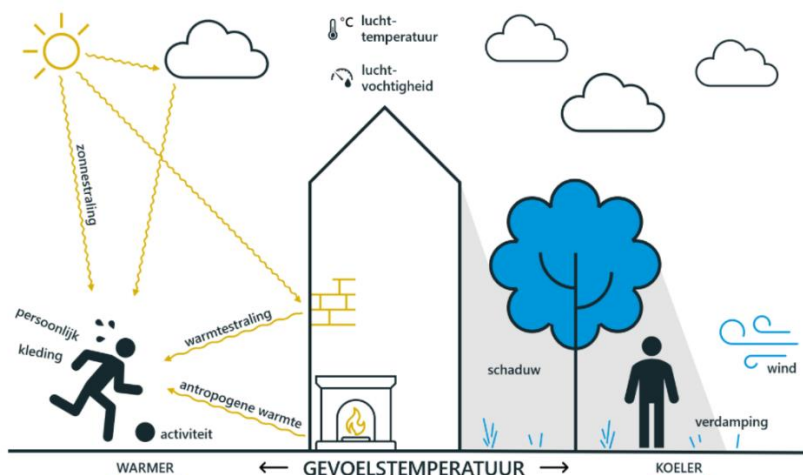
Deze bijlage beschrijft de testcase rond hittestresskaarten in het kader van het R0-Noord future-proofonderzoek. Hierbij is het de bedoeling om hittestresskaarten op te maken voor twee combinaties van alternatieven en varianten: 1a en 2b, ter hoogte van de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden. Het doel is om de hittestresskaarten van de twee ontwerpen met elkaar en met die van de bestaande toestand te vergelijken om op deze manier het effect van verschillend ontwerp op het vlak van hittestress in te schatten.

Hittestress ontstaat als er onbalans is van aan- en afvoer van warmte vanuit het menselijk lichaam (Heusinkveld, et al., 2017). Het Vlaams Klimaatportaal gebruikt momenteel hittegolfgraaddagen als indicator voor hittestress. Deze indicator is een indicatie van de luchttemperatuur. Luchttemperatuur alleen is echter niet voldoende om te beschrijven welk thermisch comfort mensen ervaren op een bepaalde locatie. Daarom werd in het kader van deze studie een Physiological Equivalent Temperature (PET) kaart opgemaakt. PET is een indicator die de gevoelstemperatuur weergeeft waarbij rekening wordt gehouden met volgende parameters



Figuur 27

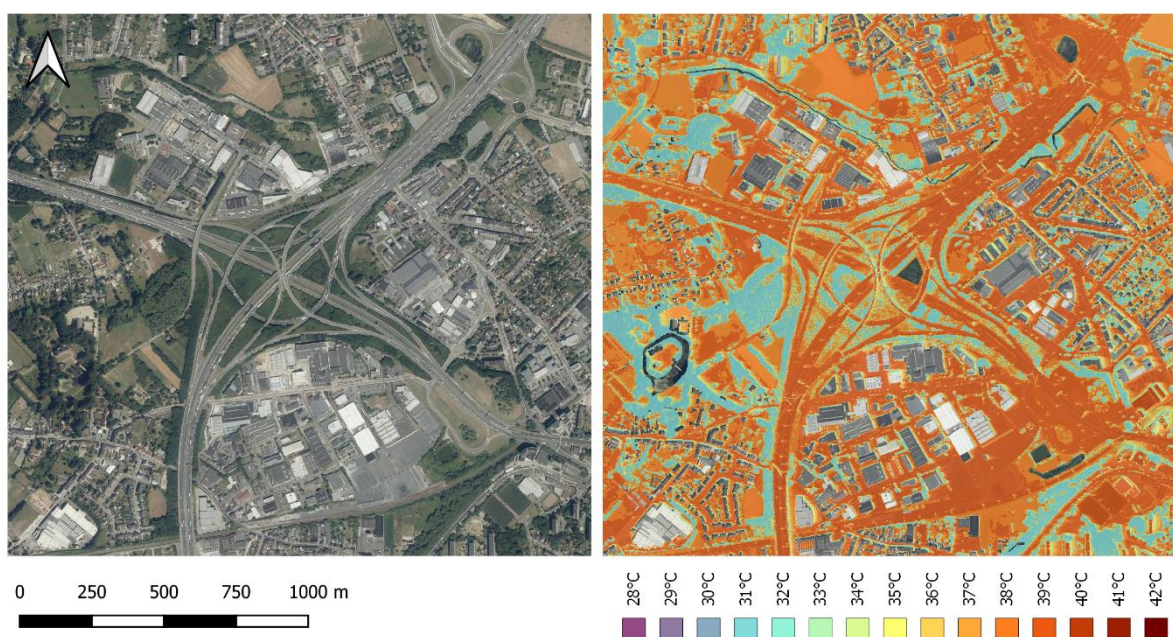
- Luchttemperatuur
- Luchtvochtigheid
- Windsnelheid
- Globale en thermische straling
- Kledingsisolatie
- Inspanning (metabolisme)



De mate van warmte-uitwisseling tussen de mens en zijn omgeving wordt naast kleding door een aantal meteorologische factoren bepaald. Zo worden we buiten blootgesteld aan luchttemperatuur, luchtvochtigheid, wind en straling. Deze componenten beïnvloeden de warmtebalans van het lichaam. Als deze niet in balans zijn, dit wil zeggen dat de warmteproductie niet in evenwicht is met de warmteafgifte, ontstaat er koude- of warmtestress.

De mate van onbalans kan uitgerekend worden via een **energiebalansmodel** van de mens. Met zo'n model kunnen we een equivalente temperatuur bepalen voor een complexe buitenomgeving, dit noemen we de fysiologische equivalente temperatuur of gevoelstemperatuur. Hierbij worden 4 variabelen aangenomen voor een gestandaardiseerd persoon: man, 1,75 m, 75 kg, vaste kleding factor, en een inspanningsniveau gelijk aan wandelen aan 4 km/uur. Stel dat de luchttemperatuur 30 °C zou bedragen en dat er weinig wind staat met een felle zon dan zou de fysiologische equivalente temperatuur hoger liggen dan de luchttemperatuur.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte methodologie wordt verwezen naar de 'Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte' (de Nijs, 2020). Hierin wordt de methodologie beschreven waarmee de **PET-kaarten** door **Sweco Nederland** werden opgemaakt die beschikbaar zijn in de Nederlandse Klimaat-effectatlas (Stichting Climate Adaptation Services, 2020). Deze methodologie werd vertaald naar de Vlaamse context en toegepast op Vlaamse data. Het PET-model werd gevoed met waarnemingen van het VMM weerstation te Melsele (Vlaamse Overheid, 2019) op een warme dag (12 augustus 2020). Deze dag valt midden in de landelijke hittegolf die duurde van 5 tot en met 16 augustus waarin er acht opeenvolgende tropische dagen werden opgemeten (Paelinck, 2020). Daarnaast werden openbare datasets zoals de hoogtekartaar, GRB (Grootschalig Referentie Bestand of Basiskaart Vlaanderen), vegetatiekaarten en bomenkaart toegevoegd aan het model. Dit resulteert in onderstaande hittestresskaart (figuur 54) overdag voor een hete zomermiddag voor het huidig klimaat ter hoogte van de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden met een raster van 1 m op 1 m.



Figuur 53: Bestaande toestand: orthofoto tijdens zomer (links) en gevoelstemperatuur tijdens hete zomerdag (rechts)

De hittestresskaart in Figuur 28 toont duidelijk waar het relatief warmer voelt (rode tinten) en op welke plekken het relatief koeler is (blauwe tinten). Plekken met veel **verharding** zoals wegenis, voetpaden, parkings of pleinen zorgen voor een hogere gevoelstemperatuur. Op deze plekken is het op een hete zomerdag het minst comfortabel. Plekken met (voldoende hoge) **vegetatie** zoals bomen of plekken ten noorden van (grote) **gebouwen** zorgen voor een lagere gevoelstemperatuur vanwege verkoeling door verdamping en schadueffecten. **Akkers en graslanden** kleuren oranje op de hittestresskaart. Hieruit blijkt dat het verkoelend effect van deze types landbedekking veel lager is dan bomen. Dit is het gevolg van een lagere verdamping en de afwezigheid van schadueffecten.

Op plaatsen met **open water** en **gebouwen** berekent het model geen gevoelstemperatuur omdat wordt aangenomen dat deze locaties niet bereikbaar zijn (bv. te midden van een watervlak of op een gebouw). Deze plaatsen ontbreken dan ook op de PET-kaart, zoals te zien is op Figuur 28. Het verkoelend schaduw effect van gebouwen wordt wel meegenomen in het model. Het verkoelend effect van open water wordt daarentegen slechtst gedeeltelijk meegenomen in het model.

Eenzijds zorgt de verdamping van water, waarbij energie wordt opgenomen om de verdamping mogelijk te maken, tot verkoeling van de lucht boven het wateroppervlak. Open water brengt dus verkoeling op de plaats zelf. Het is echter wel gekend dat dit verkoelend effect nauwelijks merkbaar is bij kleine waterpartijen en over het algemeen beperkt blijft tot 1 à 2 °C. Het gebruikte model berekent echter de gevoelstemperatuur niet op de plaats waar open water voorkomt, gezien deze plekken over het algemeen niet bereikbaar zijn.

Anderzijds zorgt de koelere lucht die ontstaat boven open water voor verkoeling van de nabije omgeving via lokale luchtcirculaties. Deze worden gestuurd door de ruimtelijke structuur van de open ruimte die dergelijke gunstige luchtcirculaties al dan niet mogelijk maakt. Met het gebruikte model worden deze lokale luchtcirculaties, bepaald door het ruimtelijk ontwerp, echter niet gemodelleerd. Er wordt enkel een algemene westenwind aangenomen die enkel verkoeling biedt door de gemodelleerde windsnelheid. Het 'airco-effect' van verkoelingselementen als (grote) open water partijen en vegetatie wordt niet gemodelleerd.

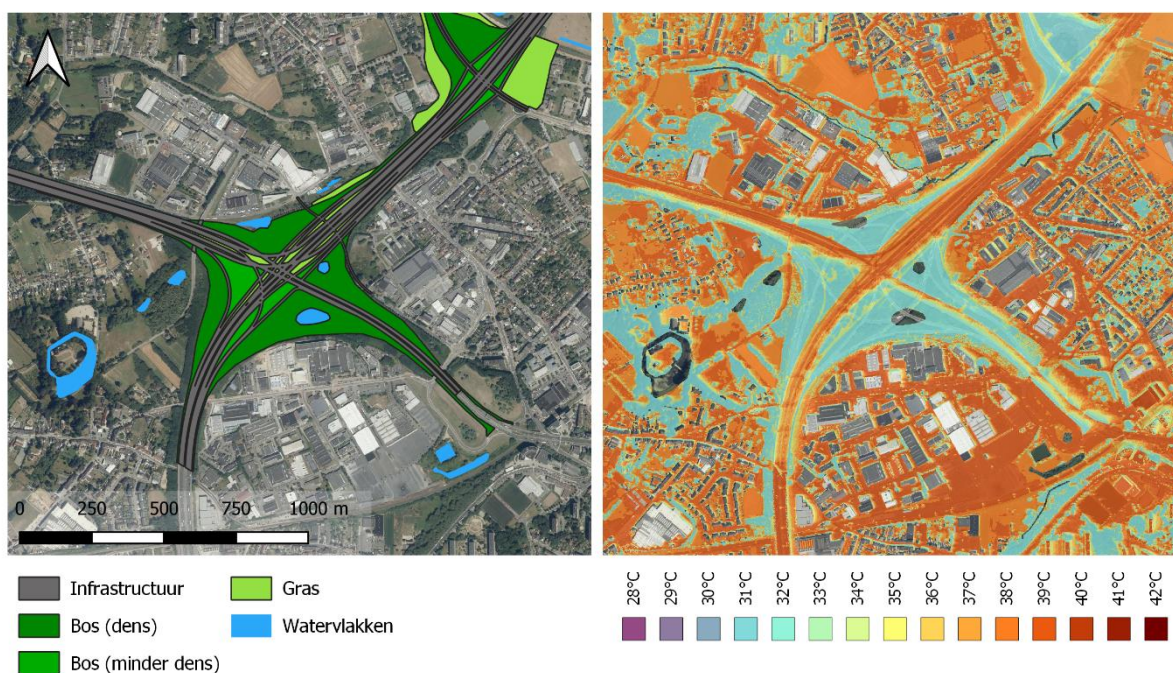
Vervolgens werd de PET-kaart aangemaakt voor twee **ontwerpvarianten**, namelijk **G1b en G2a**. De uitdaging hierbij lag in het gebruik van ruwe ontwerpdata in het model in plaats van gedetailleerde data uit het GRB, luchtfoto en het digitaal hoogtemodel. Het projectteam van RO-Noord future-proof leverde GIS-lagen aan met contouren van de verschillende types landbedekking. Op basis hiervan werd een zekere mate van verwarming of verkoeling toegekend aan iedere pixel binnen de projectzone. Voor alle pixels die buiten de projectzone vallen, werd de oorspronkelijke data gebruikt in het model. Gezien de ontwerpdata soms grote vlakken met een bepaalde landbedekking bevat, zorgt dit voor een homogene output naar gevoelstemperatuur. Om meer nuance in de gevoelstemperatuur te krijgen, werd voor de zones waar bos geplaatst zal worden gebruik gemaakt van een echte bomenlaag afkomstig uit een gebied in het Zoniënwood. Op deze manier werd de natuurlijke variatie in boomhoogte en densiteit, en dus ook de verkoelende potentie, realistischer gemodelleerd.

Om de twee ontwerpvarianten met elkaar en met de bestaande toestand te kunnen **vergelijken** op vlak van hittestress, werd de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone berekend en vergeleken. Op deze manier wordt het verkoelend effect van de vegetatie of het verwarmend effect van de weginfrastructuur voor de verschillende varianten vergeleken. Vervolgens werd ook het verschil berekend tussen de gevoelstemperatuur van de bestaande toestand en de twee varianten buiten de projectzone. Op deze manier wordt het verkoelend of verwarmend effect van de twee varianten op de omgeving bepaald.

2. RESULTATEN EN BESPREKING

De Figuur 53 toont de aangeleverde GIS-data voor het alternatief 1b / **G1b** (links) en de hittestresskaart met de gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag voor deze variant (rechts). Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de grote voorziene ruimte voor bos, zowel dens als minder dens, voor een sterk verkoelend effect zorgt. **De gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone bedraagt 34,7 °C.** Ter vergelijking, de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen dezelfde zone bedraagt 37,7 °C voor de bestaande toestand. Hierdoor zorgt de ontwerpvariant G1b voor een **daling van de gemiddelde gevoelstemperatuur van 3 °C.**

De **grote oppervlakten aan bomen** brengen verkoeling door verdamping en schaduw. Hierdoor zijn sommige stukken van de weginfrastructuur door schaduw bedekt en is de gevoelstemperatuur ruim 5 °C lager dan plekken die geen schaduweffect ondervinden. Dit effect wordt echter omwille van twee redenen overschat. Ten eerste is in het model geen hoogte toegekend aan de weginfrastructuur en bevindt deze zich ter hoogte van het maaiveld. In werkelijkheid zullen delen hiervan verhoogd zijn door brugstructuren waardoor het schaduweffect minder sterk zal zijn. Ten tweede is de boomlaag gesimuleerd door werkelijke bomen uit het Zoniënwoud, waarbij het gaat over volgroeide bomen van ruim 15 m. In werkelijkheid zal het verkoelend effect en het schaduweffect van de bomen rond de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden minder sterk zijn, zeker de eerste jaren na aanplanting.

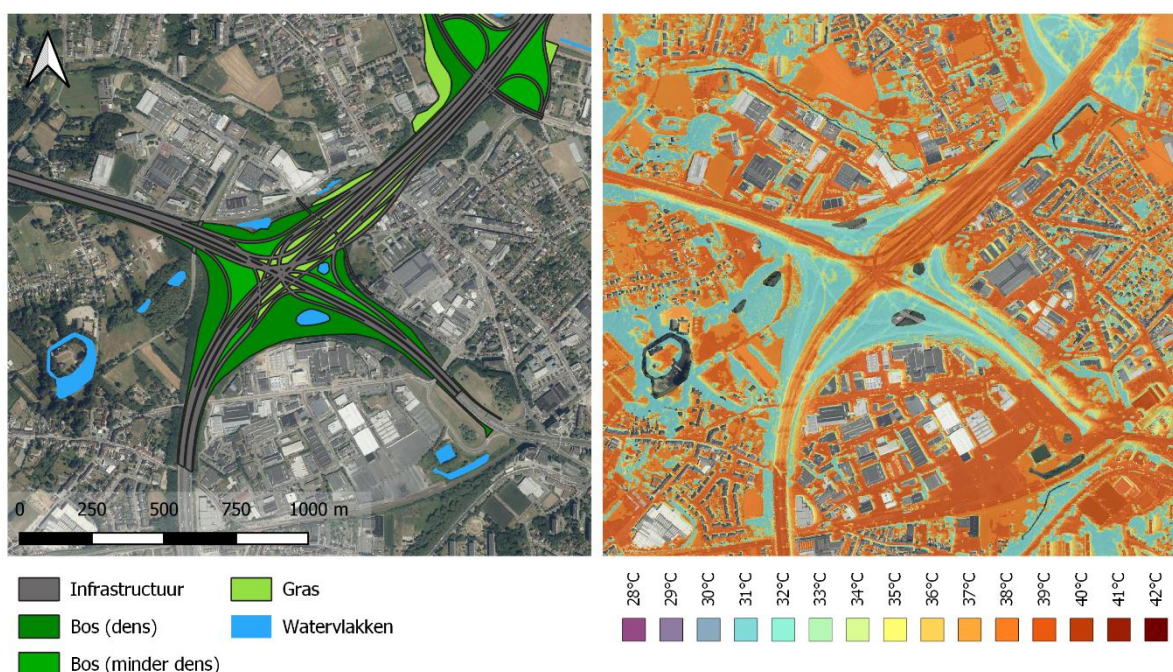


Figuur 54: Ontwerpvariant G1b: orthofoto tijdens zomer met aangeleverde ontwerpdata (links) en gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag (rechts)

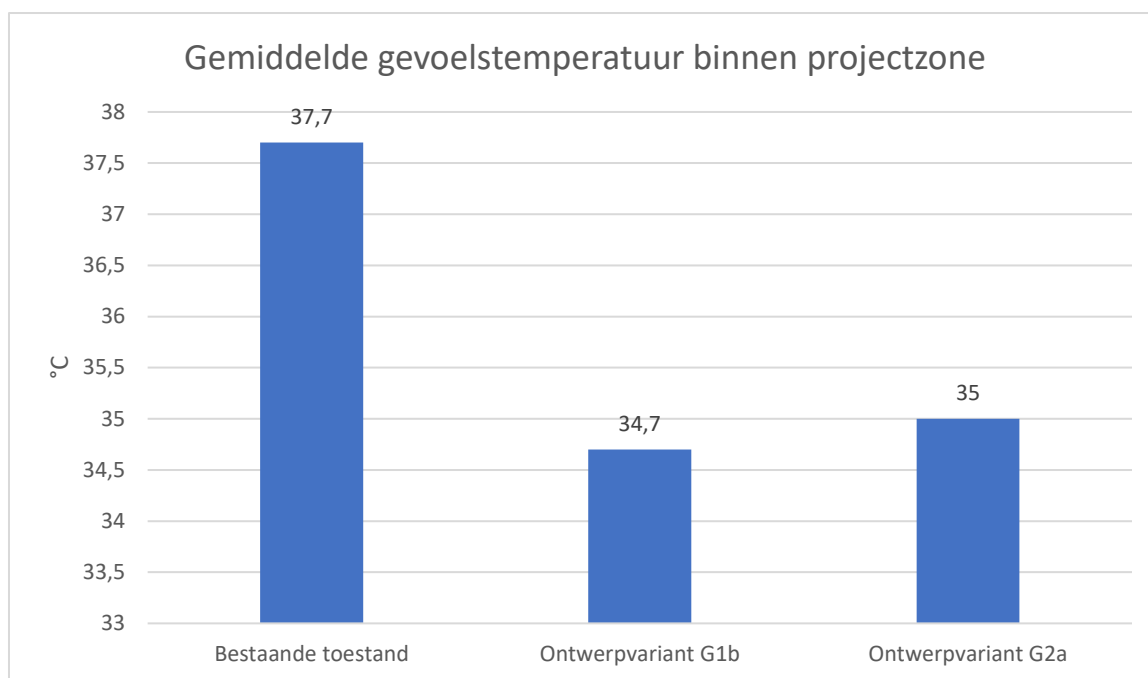
Figuur 56 toont de aangeleverde GIS-data voor het alternatief 2b / **G2a** (links) en de hittestresskaart met de gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag voor deze variant (rechts). Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de grote voorziene ruimte voor bos, zowel dens als minder dens, voor een sterk verkoelend effect zorgt. **De gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone bedraagt 35,0°C**. Ter vergelijking, de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen dezelfde zone bedraagt 37,6 °C voor de bestaande toestand. Hierdoor zorgt de ontwerpvariant G2a voor een **daling van de gemiddelde gevoelstemperatuur van 2,6 °C**.

De **grote oppervlakten aan bomen** brengen verkoeling door verdamping en schaduw. Hierdoor zijn sommige stukken van de weginfrastructuur door schaduw bedekt en is de gevoelstemperatuur ruim 5 °C lager dan plekken die geen schaduweffect ondervinden. Dit effect wordt omwille van dezelfde twee redenen, zoals hierboven beschreven, overschat.

Tabel 1 geeft een overzicht van de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone voor de bestaande toestand en de ontwerpvarianten G1b en G2a. **Beide varianten zorgen duidelijk voor een sterke afname van de hittestress binnen de projectzone in vergelijking met de bestaande toestand**. Variant G1b heeft de laagste gemiddelde gevoelstemperatuur. Variant G2a kent iets hogere gemiddelde gevoelstemperatuur vanwege de kleinere oppervlakte aan bomen (verkoelend) en de grotere oppervlakte aan weginfrastructuur (verwarmend). Het verkoelend effect van de bomen moet wel genuanceerd worden, zoals hierboven besproken.



Figuur 55: Ontwerpvariant G2a: orthofoto tijdens zomer met aangeleverde ontwerpdata (links) en gevoelstemperatuur tijdens een hete zomerdag (rechts)

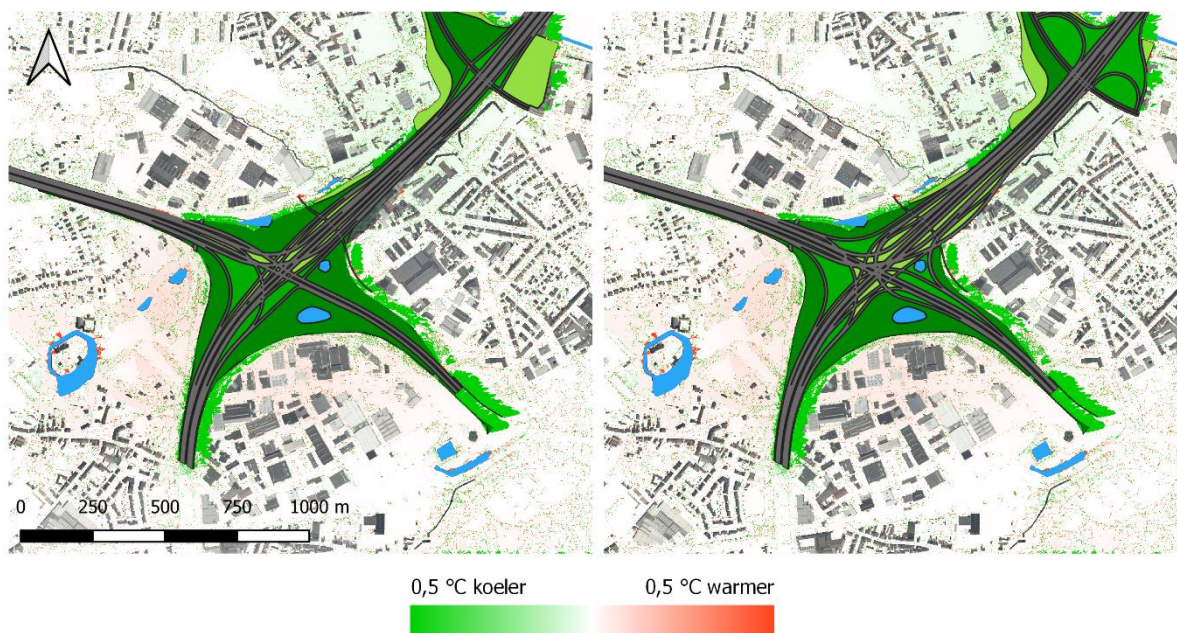


Tabel 2: Vergelijking van de gemiddelde gevoelstemperatuur binnen de projectzone voor de bestaande toestand en de ontwerpvarianten G1b en G2a

De Figuur 56 toont het verschil in gevoelstemperatuur tussen de ontwerpvariant en de bestaande toestand buiten de projectzone. Op plekken met groene tint zorgt de ontwerpvariant voor een lagere hittestress t.o.v. de bestaande toestand. Op plekken met rode tint zorgt de ontwerpvariant voor een hogere hittestress t.o.v. de bestaande toestand. Aan de hand van deze figuur kan het effect van de ontwerpvariant op de omgeving op vlak van hittestress bekeken worden.

Voor beide varianten, G1b en G2a, kunnen gelijkaardige besluiten getrokken worden. Op enkele locaties zijn er duidelijke verschillen tussen de gevoelstemperatuur. Langsheen beboste gebieden **aan de rand van beide varianten** kleurt de verschilkaart duidelijk groen. Op deze plekken zorgen de bomen binnen het ontwerp voor meer verkoeling van de omgeving door verdamping en schaduw. Voor beide varianten ligt de gevoelstemperatuur hier **3 tot 4 °C lager** dan voor de bestaande toestand. Dit lokale verkoelend effect is sterk en zeer duidelijk zichtbaar op de kaart.

Op andere locaties, verder van de directe omgeving van de projectzone, zijn de verschillen **minimaal**. In het noorden van de projectzone is een lichtgroene tint te zien in de omgeving. De verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de bijkomstige beboste gebieden in het noorden een verkoelend effect hebben op de omgeving door grootschaligere windeffecten. Echter, voor beide varianten is de gevoelstemperatuur in de omgeving **amper 0,1 °C koeler**. Dit effect zou **niet voelbaar** zijn. Omgekeerd, is er een zacht rode tint rondom de verkeerswisselaar zelf. Hiervoor valt niet meteen een logische verklaring te vinden. Gezien ook hier meer beboste zone voorzien wordt in de ontwerpvarianten, zou een verkoelend effect op de omgeving verwacht worden. Het zou kunnen gaan om een lichte afwijking in de berekening door het model. Het verschil ligt echter eveneens in dezelfde grootteorde van 0,1 °C en is dus niet voelbaar.



Figuur 56: Berekend verschil in gevoelstemperatuur tussen de ontwerpvariant en de bestaande toestand buiten de projectzone. Op deze manier kan het effect van de ontwerpvariant op de omgeving bekeken worden, voor G1b (links) en G2a (rechts). Op plekken met groene (rode) tint zorgt de ontwerpvariant voor een lagere (hogere) hittestress t.o.v. de bestaande toestand.

Over het algemeen lijkt op basis van de hittestresskaarten het effect op de (ruimere) omgeving amper merkbaar. De verschillen tussen de bestaande toestand en de twee varianten zijn minimaal. Dit is gedeeltelijk te wijten aan een **beperking van het model**. Enerzijds is hittestress een lokaal verhaal. De vegetatie tussen de weginfrastructuur van de verkeerswisselaar zal geen (voelbaar) verkoelend effect hebben op de woonwijk 750 m verderop. Anderzijds is er in werkelijkheid zeker en vast ook een verkoelend of verwarmend effect op grotere schaal. Via (lokale) windcirculaties kan relatief warme of koele lucht getransporteerd worden naar nabij gelegen plekken.

Zo blijkt uit een validatierapport van de Universiteit van Wageningen (Koopmans, 2021), dat de PET-kaart vrij goed weergeeft op welke plekken het relatief warmer of koeler is, maar dat de PET-kaart op sommige locaties enkele graden verschilt van de werkelijkheid. Deze afwijkingen zijn het gevolg van parameters en effecten die niet zijn opgenomen in het model. Zo zijn er in werkelijkheid bijvoorbeeld specifieke windturbulenties rondom gebouwen. Ook wordt in werkelijkheid koele lucht van tussen bomen of boven waterpartijen getransporteerd naar de omgeving. In het model wordt daarentegen slechts een algemene westenwind aangenomen, zonder lokaal luchttransport dat bepaald wordt door de ruimtelijke plaatsing van vegetatie en waterpartijen. Ook wordt het effect van droogte niet mee opgenomen in het model. Door lang aanhoudende droogte kan de verdamping (en dus verkoeling) van vegetatie afnemen door bladval en van akkers door droge bodems.

3. CONCLUSIE

Een hittestresskaart is een waardevol instrument om de relatief warme plekken tijdens een hete zomerdag in een stedelijke omgeving te detecteren. Deze kaart biedt een gebiedsdekkend overzicht van de relatieve gevoelstemperatuur en kan gebruikt worden voor advies rond hittestressverlaging. In het kader van het project RO-Noord Future-Proof werden hittestresskaarten opgemaakt voor de bestaande toestand en twee ontwerpvarianten voor de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden.

Uit de resultaten kunnen **drie voornaamste conclusies** gemaakt worden. **(1)** Ten eerste zorgen beide varianten van de verkeerswisselaar in Groot-Bijgaarden voor een afname van de hittestress (lees: gemiddelde gevoelstemperatuur) binnen de projectzone t.o.v. de bestaande toestand, voornamelijk door de toename van oppervlakte bedekt met bomen. **(2)** Ten tweede zorgt variant G1b voor de laagste hittestress binnen de projectzone door de grootste oppervlakte aan bomen en de kleinste oppervlakte aan weginfrastructuur. **(3)** Ten derde is er weinig onderscheid tussen beide varianten en de bestaande toestand op het gebied van hittestress naar de omgeving toe. Het maximaal compacteren van de weginfrastructuur in combinatie met het maximaal bebossen van de vrijgekomen ruimte heeft op het gebied van hittestress zo goed als geen grootschalig effect op de omgeving.

Hierbij zijn enkele belangrijke **opmerkingen** te maken.

Ten eerste rekent het model voor dit project met **ruwe ontwerpdata**, waardoor dit (op sommige plekken) een vrij uniforme en ongenueanceerde hittestresskaart oplevert. Hierdoor is het enigszins moeilijk om de hittestresskaarten van de ontwerpvarianten kwantitatief te vergelijken met de bestaande toestand. Het gebruik van ontwerpdata verhindert een gedetailleerde hittestresskaart.

Ten tweede houdt het model enkel rekening met **algemeen luchttransport** door een aangenomen westenwind en niet met lokale dynamieken in luchttransport die veroorzaakt worden door de lokale ruimtelijke structuren (gebouwen, vegetatie en waterpartijen). Aangezien in het model koele lucht geen toegang krijgt tot relatieve warme zones om daar verkoeling te bieden, kan het verkoelend of verwarmend effect van het ontwerp op de omgeving onder- of overschat worden in de modeloutput.

Omwille van bovenstaande opmerkingen en omwille van de grote schaal van het project, lijkt de conclusie op basis van de aangemaakte hittestresskaarten dat de plaatsing van extra bos enkel de gevoelstemperatuur doet afnemen binnen de projectzone. In werkelijkheid zal het effect op de omgeving op sommige plaatsen groter zijn dan zichtbaar op deze kaarten. Om verkoeling te bieden op relatief warme plekken, moet er een verbinding zijn met de relatief koele plekken via **verkoelende groenblauw-assen**. Om hittestress te beheersen binnen de projectzone en in de nabije omgeving, moet een soort van **verkoelingsnetwerk** uitgebouwd worden. Dit vereist een gebiedsgerichte benadering die niet alleen uitgaat van het kwantitatieve aspect (oppervlakte bos), maar ook van het locatiegebonden aspect (het strategisch plaatsen van bos). Vanuit deze optiek wordt het onderscheid tussen ontwerpvarianten voor de verkeerswisselaar wel relevant. Om deze effecten te kunnen kwantificeren, is echter (1) een gedetailleerder ruimtelijk ontwerp en (2) een verder doorgedreven modelmatige benadering noodzakelijk.