

Missie D+

Meerjarige Missie-gedreven Innovatieprogramma
Duurzaam en Toekomstbestendig Mobiliteitssysteem

Binas tabellenboek

van innovatieopgaven en kennisvragen voor duurzame en
toekomstbestendige mobiliteit voor de periode 2023 – 2026

Versie : 1.0
Datum : Februari 2023
Bijlage bij : *Missie D+ Programma voor de periode 2023 – 2026*



Samenvatting

Vanwege de toegenomen urgentie om verduurzaming en andere maatschappelijke transitie te versnellen heeft het nieuwe kabinet gevraagd om een versnelde herijking van de missie-gedreven innovatieprogramma's. Missie D+, het meerjarige missie-gedreven innovatieprogramma m.b.t. een duurzaam en toekomstbestendig mobiliteitssysteem, geeft daar gehoor aan middels een actualisatie van haar werkprogramma en van de achterliggende bredere agenda met prioritaire innovatieopgaven en kennisvragen.

Dit document betreft de herijking van die innovatie- en kennisagenda. Het document biedt een basis dan wel referentiekader voor de programmering van onderzoeks- en innovatieprogramma's van topsectoren, kennisinstellingen, overheden en andere bij duurzame en toekomstbestendige mobiliteit betrokken innovatiepartijen. In de context van de herijking van Missie D+ dient het als basis voor de prioritering en programmering van activiteiten die de komende vier jaar vanuit Missie D+ zullen worden ondernomen om kennisontwikkeling en innovatie te initiëren en versnellen op onderwerpen die ofwel onvoldoende door individuele innovatiepartijen en bestaande samenwerkingsverbanden worden afgedekt of opgepakt, ofwel door hun sector-overstijgende karakter extra ondersteuning en afstemming behoeven.

Missie-gedreven innovatie voor mobiliteit en logistiek

De 1,5°C doelstelling uit het Klimaatakkoord van Parijs vraagt om een versnelde reductie van CO₂-emissies in de periode tot 2030-35 om de cumulatieve emissies van broeikasgassen tot het eind van deze eeuw binnen een eindelijk "carbon budget" te houden. Om die versnelling te realiseren moeten bestaande CO₂-reductiemaatregelen sneller worden geïntroduceerd en opgeschaald en moeten nieuwe opties versneld worden ontwikkeld en tot wasdom worden gebracht. Tegelijkertijd moet het mobiliteitssysteem klimaatadaptief worden gemaakt om bestand te zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering die met mitigerende maatregelen niet meer voorkomen kunnen worden.

Andere maatschappelijke uitdagingen waar Missie D+ aan wil bijgedragen betreffen (het oplossen van) problemen m.b.t. onder andere verkeersveiligheid, bereikbaarheid en vervoersarmoede, luchtkwaliteit en geluidhinder (en de gevolgen daarvan voor gezondheid), stikstofdepositie, afnemende biodiversiteit, versnippering van het landschap en waterkwaliteit.

Maar behalve aan het oplossen van problemen wil Missie D+ bovenal zorgen voor een positieve bijdrage van mobiliteit en logistiek aan de toekomstige wereld waarin wij willen leven. In het *Programma voor de periode 2023 – 2026* is deze ambitie vertaald naar 3 transitiepaden die de komende periode centraal staan en samen met stakeholders nader uitgewerkt zullen worden:

1. Welzijn faciliteren in plaats van mobiliteit;
2. Samen met mobiliteit de energietransitie versnellen;
3. Mobiliteit in een duurzame, circulaire wereld.

Om de innovatieopgaven en kennisvragen op een overzichtelijke manier te kunnen presenteren is in dit document gekozen voor de volgende indeling van onderwerpen:

- *Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers*: met een focus op technische innovaties op het niveau van voertuigen en van de systemen die nodig zijn om deze in te kunnen zetten;
- *Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek*; met een focus op ontwikkelingen m.b.t. digitalisering, connectiviteit, automatisering en innovaties in mobiliteitsconcepten en -diensten;
- *Bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie*.

Via de onderliggende innovaties en kennisontwikkeling dragen al deze drie hoofdonderwerpen bij aan de alle drie hierboven genoemde transitiepaden. Bij de beschrijving van innovatie-opgaven wordt naast technische innovatie nadrukkelijk ook aandacht besteed aan de sociale en institutionele innovaties die enerzijds nodig zijn voor grootschalige toepassing van technische innovaties en anderzijds ook zelf kunnen bijdragen aan realisatie van de hierboven genoemde missies.

Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers

Technische ontwikkeling aan nieuwe aandrijftechnologie en de toepassing van duurzame energiedragers voor de verschillende modaliteiten binnen mobiliteit en logistiek blijft voor het realiseren van de genoemde maatschappelijke doelen onverminderd belangrijk. Maar om versneld te kunnen opschalen moet er ook innovatie plaatsvinden op factoren die de implementatie van duurzame aandrijf- en voertuigtechnologie hinderen of vertragen. Dergelijke innovaties betreffen soms specifieke technologieën, maar gaan meer en meer over sociale en institutionele innovaties en ontwikkelingen op een hoger systeemniveau. Dat betekent dat "systeemvraagstukken" voor verduurzaming van mobiliteit en logistiek een prominentere rol spelen dan voorheen in deze herijkte kennis- en innovatieagenda.

Op hoofdlijnen omvatten de prioritaire technische, sociale en institutionele innovatieopgaven en kennisvragen m.b.t. duurzame mobiliteit en logistiek de volgende onderdelen:

- (Verdere) ontwikkeling, beproeving en eerste toepassing / marktintroductie¹ van duurzame aandrijf- en voertuigtechnologie voor verschillende modaliteiten (wegverkeer, mobiele werktuigen, binnenvaart, spoor, zeescheepvaart en luchtvaart), met een focus op zware vervoerstoepassingen en technologieën waarin de Nederlandse industrie en sterke internationale positie heeft:
 - (Componenten voor) elektrische aandrijving, incl. geavanceerd energiemangement;
 - Batterijmodules / batterijsystemen m.n. voor zware toepassingen, inclusief batterij management systemen en efficiënte, duurzame productiemethoden;
 - Nieuwe batterijtechnologie;
 - Brandstofceltechnologie voor specifieke toepassingen;
 - Ultra-efficiënte verbrandingsmotoren voor toepassing van waterstof en andere duurzaam geproduceerde brandstoffen, waaronder e-fuels;
 - Energiebesparende voertuigtechnologie;
- Technologie, schaalbare concepten en waardeketens voor de uitrol van laadinfrastructuur voor lichte en zware voertuigen (incl. lucht- en scheepvaart), inclusief ruimtelijke inpassing, logistieke inpassing en integratie in het energiedistributienetwerk en met opwekking en toepassing van duurzame energie op verschillende ruimtelijke schaalniveaus;
- Technologie, concepten en waardeketens voor distributie van waterstof en andere alternatieve brandstoffen naar toepassingen in m.n. zwaar en lange afstandswegvervoer, scheepvaart en luchtvaart;
- Kennis van niet-CO₂-gerelateerde klimaateffecten van luchtvaart en van de impacts van nieuwe aandrijftechnologieën en brandstoffen (zoals effect van waterdamp bij vliegen op waterstof) en van mogelijk mitigerende maatregelen;
- Onderzoek en ontwikkeling m.b.t. niet-klimaatgerelateerde aspecten van duurzame mobiliteit en logistiek:
 - Kennis van de praktijkemissies van alle modaliteiten, incl. slijtage-emissies, en inzicht in de impacts van deze emissies op luchtkwaliteit, gezondheid en natuur;
 - Circulaire technologie en systemen: innovaties t.b.v. reductie van de behoefte aan schaarse grondstoffen voor duurzame aandrijftechnologie en ontwikkeling van infrastructuur en waardeketens voor inzameling en recycling van grondstoffen;
- Kennis- en systeemvragen m.b.t. onder meer:
 - De toepasbaarheid en potentiële impacts van verschillende duurzame aandrijfopties en energiedragers in toepassingen waarvoor nog geen dominante oplossing in beeld is;
 - Gedragsaspecten en sociale en institutionele factoren die de introductie en opschaling van duurzame aandrijf- en voertuigtechnologie belemmeren of kunnen versnellen;

¹ Missie D+ geeft richting aan het innovatiebeleid voor duurzame en toekomstbestendige mobiliteit en logistiek. Het ontwikkelen en implementeren van beleid om de opschaling / grootschalige toepassing van nieuwe technologie te bevorderen (subsidiering, fiscale prikkels, flankerende maatregelen, etc.) is de verantwoordelijkheid van de betrokken departementen. De ontwikkeling van nieuwe kennis en innovatieve concepten voor dergelijk beleid is wel onderdeel van de kennis- en innovatie-agenda voor Missie D+.

- o Integratie van duurzame mobiliteit in het energiesysteem, incl. het vermijden van negatieve impacts (o.a. netcongestie) en maximalisering van positieve bijdragen die vanuit mobiliteit kunnen worden geleverd aan de verduurzaming van o.a. wijken en bedrijventerreinen;
- o Interacties tussen verduurzaming van mobiliteit en logistiek en de duurzame transformatie van de Nederlandse industrie en mainports.

Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek

Naast duurzame aandrijf- en voertuigtechnologie richt deze kennis- innovatieagenda zich ook op zgn. smart technologie, diensten en systemen, die voor mobiliteit en logistiek worden ontwikkeld om de verkeersveiligheid te vergroten, steden en regio's bereikbaar te houden, de efficiency van het systeem te verhogen en kosten te verlagen en voor verduurzaming. Belangrijke aangrijpingspunten daarbij zijn het voorkomen van ongevallen en incidenten, het verminderen van transportbewegingen, het faciliteren van optimale modaliteitskeuzes en het zo zuinig, schoon en veilig uitvoeren van de met die modaliteiten afgelegde kilometers. Deze ontwikkelingen omvatten onder meer "connected" en geautomatiseerde voertuigen, slim verkeersmanagement, data-gedreven en zelf-organiserende logistiek, nieuwe mobiliteitsconcepten en (platform)diensten en innovatieve nieuwe voertuigconcepten.

Slimme mobiliteit kan bijdragen aan het halen van de aangescherpte klimaatdoelstelling mits voldoende snel en op voldoende grote schaal ingevoerd. Het bedienen van de vervoersbehoefte van personen en goederen met minder voertuigkilometers of efficiënter afgelegde personen- en goederenkilometers heeft het meeste effect op CO₂-emissies zolang een groot deel van de voertuigvloot nog op fossiele brandstof rijdt. Maar het belang van het anders organiseren van mobiliteit en logistiek wordt ook om andere redenen groter. Steeds duidelijker wordt dat het verduurzamen van voertuigen en het oplossen van congestie-knelpunten niet toereikend is om onze steden en regio's bereikbaar, leefbaar, vitaal en inclusief te houden. De komende jaren moet er vanuit verschillende disciplines samengewerkt worden om ontwikkelingen in o.a. ruimtelijke ordening, het mobiliteitssysteem en de verduurzaming van onze energievoorziening en productieketens (circulariteit), ondersteund door veranderingen in gedrag en instituties, op te lijnen en op een innovatievere manier vorm te geven en aan te sturen om steden en regio's vanuit een breed welvaarts perspectief toekomstbestendig te maken. Ook dit betekent dat naast technische innovaties systeemtransities de bijbehorende sociale en institutionele innovaties hoger op de agenda moeten staan. Het is ook duidelijk dat die vragen verder gaan dan het domein van alleen Missie D+ en dat dus een brede systeembenadering en samenwerking met andere missies en over sectoren en disciplines heen steeds belangrijker worden.

Op hoofdlijnen omvatten de prioritaire innovatieopgaven en kennisvragen m.b.t. slimme mobiliteit en logistiek de volgende onderdelen:

- Technische, sociale en institutionele innovaties t.b.v. slim verkeersmanagement en connectiviteit en automatisering van voertuigen en vervoerssystemen;
- Technische, sociale en institutionele innovaties t.b.v. ketenreizen, deelmobiliteit en andere diensten voor personenmobiliteit;
- Technische, sociale en institutionele innovaties op het gebied van slimme logistiek, inclusief datagedreven en zelf-organiserende logistiek;
- Assessment, ontwikkeling en beproeving van nieuwe voertuig- en vervoersconcepten, zoals micromodaliteiten, people movers en nieuwe concepten voor vervoer door de lucht;
- Kennis- en systeemvragen m.b.t. onder meer:
 - o Vergroten van het inzicht in de potentiële impacts, inclusief rebounds en ongewenste verdelingseffecten, van ontwikkelingen op het gebied van slimme personenmobiliteit en logistiek op de duurzaamheid en toegankelijkheid van mobiliteit (inclusiviteit, voorkomen van vervoersarmoede), de bereikbaarheid van essentiële bestemmingen en de leefbaarheid van steden en regio's;
 - o Ontwikkeling van technische en overige sturingsmaatregelen voor optimalisatie van smart mobility technologieën en systemen naar hun bijdrage aan CO₂-emissiereductie en andere urgente maatschappelijke doelen;
 - o Nieuwe paradigma's en indicatoren voor ontwikkeling van beleid voor toekomstbestendige mobiliteit en logistiek en bijbehorende infrastructuur.

Bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie

Het belang van investeren in systeemvraagstukken en bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie naar duurzame en toekomstbestendige mobiliteit en logistiek neemt dus toe. Eerste stappen in de introductie en opschaling van alternatieve technologieën en concepten kunnen vaak wel zonder breder systeemperspectief worden gezet, maar bij verdere opschaling komen complexe systeemvraagstukken vanzelf naar voren, zowel m.b.t. ontwikkelingen binnen het mobiliteitssysteem als m.b.t. de interactie tussen mobiliteit en andere sectoren en systemen. Ook wordt steeds duidelijker dat klimaatneutrale mobiliteit en logistiek en andere aan deze sector opgelegde maatschappelijk doelen niet gehaald kunnen worden met alleen incrementele of meer fundamentele verbeteringen aan de onderdelen van het bestaande systeem. Er zijn structurele systeemwijzigingen (=transities) nodig in mobiliteit en logistiek en in de manier waarop voor deze sector beleid gemaakt wordt.

Het beantwoorden van systeemvraagstukken vraagt onder meer om het ontwikkelen van nieuwe denk- en afwegingskaders, het combineren van β - en γ -domeinkennis en methoden in multi- en transdisciplinaire samenwerking en "learning communities", de ontwikkeling van innovatieve modellen, ontwerpmethodieken en valorisatiemethodieken en innovatieve manieren van omgaan met bestaande en nieuwe data.

Bredere kennisvragen en innovatieopgaven voor toekomstbestendige mobiliteit omvatten onder meer:

- Operationaliseren van kennis en kunde voor een sector-overstijgende systeembenadering;
- Innovatieve modellen voor de ex ante inschatting van potentiële effecten van emergente, mogelijk disruptieve ontwikkelingen;
- Operationaliseren van kennis van sociale innovatie en systeeminnovaties naar de domeinen duurzame, slimme en toekomstbestendige mobiliteit en logistiek;
- Verbetering van de kennis van gedrag en gedragsverandering in relatie tot mobiliteit en de rol er van in (de adoptie van) oplossingen voor bereiken maatschappelijke doelen, en mogelijkheden om gedrag te beïnvloeden;
- Ontwikkelen van nieuwe ontwerpprincipes, paradigma's en beleidsinstrumenten voor ruimtelijke ordening, de planning en realisatie van mobiliteitsinfrastructuur en andere aspecten van de realisatie van bereikbare en leefbare stedelijke en landelijke gebieden:
 - O.a. transitie van knelpuntgericht denken (voertuigverliesuren) naar bredere definitie van bereikbaarheid en toegankelijkheid (voor iedereen);
- Operationalisering van de brede welvaartsbenadering voor het werkveld mobiliteitsbeleid:
 - Zowel in ex post assessments als in ex ante modellering van de impacts van beleid en technologische en andere innovaties;
 - Met bijzondere aandacht voor verdelingseffecten en inclusiviteit (zoals mobiliteits- of bereikbaarheidsarmoede);
- Innovatieve modellen, methoden en governance voor plan- en beleidsontwikkeling, incl. kennis en tools voor het inschatten van effecten van beleidsmaatregelen;
- Bredere kennisvragen m.b.t. de interactie tussen transities in de mobiliteitssector en bredere transities m.b.t. energie, klimaat en circulariteit.

Daarnaast beschrijft dit onderdeel van de kennis- en innovatieagenda bredere kennisvragen m.b.t.

- Circulariteit, m.b.t. zowel voertuigen en infrastructuur voor het mobiliteitssysteem als de impact van de transitie naar een circulaire economie op mobiliteit en logistiek;
- Resilience / robuustheid van infrastructuren en het mobiliteitssysteem.

Voor het beantwoorden van deze kennisvragen en het opvolging geven aan conclusies van dit onderzoek is het van belang om nieuwe samenwerkingsverbanden, participatievormen en een lerende cultuur te ontwikkelen waarmee met name de sociale en institutionele dimensie van innovaties versneld kan worden. Missie D+ draagt daar aan bij voor het ontwikkelen en initiëren van nieuwe, cross-sectorale en trans-disciplinaire samenwerkingsvormen en bijbehorende financieringsmodellen.

R&D-faciliteiten

Om onderzoek en ontwikkeling op de in dit document genoemde innovaties en kennisvragen m.b.t. duurzame en slimme mobiliteit en logistiek te ondersteunen, en om de effecten van geïmplementeerde technologieën en concepten te kunnen monitoren, zijn de komende jaren investeringen nodig in:

- Labfaciliteiten, inclusief virtual testing;
- Tools voor micro- en macrosimulaties;
- Real-world testomgevingen en living labs, incl. digitale infrastructuur voor verzamelen van data en aansturing experimenten;
- Faciliteiten voor real-world-monitoring van voertuigen, verkeer en mobiliteitssystemen;
- Digital twins die monitoring van real-world systemen koppelen aan simulaties;
- Kennisverzameling, -borging en -disseminatie.

Deze faciliteiten zijn nodig voor de ontwikkeling en blijvende ondersteuning van een krachtig Nederlands innovatie-ecosysteem voor duurzame en slimme mobiliteit en logistiek.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding	8
1.1 Scope van dit document	8
1.1.1 Missie-gedreven innovatie voor mobiliteit en logistiek.....	9
1.2 Opbouw van dit document	9
1.3 State-of-the-art	11
2 Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers.....	12
2.1 Toepassings specifieke innovaties.....	12
2.2 Generieke technologie / enablers	17
2.2.1 Componenten.....	18
2.2.2 Brandstoffen / energiedragers.....	20
2.2.3 Digitalisering.....	22
2.3 Innovatie-opgaven en kennisvragen m.b.t. (versnelde) introductie en opschaling van oplossingen voor duurzame mobiliteit en logistiek.....	22
2.3.1 Klimaat-gerelateerde kennisvragen.....	22
2.3.2 Niet-klimaatgerelateerde kennisvragen en innovatie-opgaven voor duurzame mobiliteit ...	24
2.4 R&D faciliteiten voor duurzame mobiliteit en logistieke diensten.....	25
3 Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek	27
3.1 Slimme mobiliteit en logistiek - optimaliseren op maatschappelijke doelen	27
3.1.1 Smart-4-Sustainable: dimensies.....	28
3.2 Verkeersmanagement, connectivity en automatisering.....	30
3.3 Slimme personenmobiliteit: ketenreizen en deelmobiliteit	31
3.4 Slimme logistiek	32
3.5 Nieuwe voertuig- en vervoersconcepten.....	34
3.6 Generieke sleuteltechnologieën	34
3.7 Kennisvragen m.b.t. (overig) beleid voor slimme, efficiënte en veilige mobiliteit en logistiek.....	34
3.8 R&D faciliteiten voor slimme en veilige mobiliteit en logistiek.....	35
4 Bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie	36
4.1 Systeemvraagstukken.....	37
4.2 Nieuwe tools en afwegingskaders.....	39
4.3 Circulariteit	42
4.4 Resilience / robuustheid van infrastructuren en het mobiliteitssysteem.....	43
Colofon.....	44
Bijlage 1: State-of-the-art m.b.t. duurzame aandrijftechnologie.....	45
Bijlage 2: State-of-the-art m.b.t. slimme mobiliteit en mobiliteitssystemen	47

1 Inleiding

Met de start van een nieuw coalitieakkoord 'Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst', de Europese Fit-for-55 plannen en de ervaringen van de afgelopen jaren met het missiegedreven werken, heeft het kabinet de wens geuit om de herijking van de missiegedreven innovatieprogramma's te versnellen ten opzichte van de gebruikelijke systematiek van het Kennis en Innovatie Convenant (KIC). Daarbij speelt ook de huidige energiecrisis als gevolg van de oorlog in Oekraïne en de noodzaak om sneller onafhankelijk te worden van Russisch gas. Missie D+, het meerjarige missie-gedreven innovatieprogramma m.b.t. een duurzaam en toekomstbestendig mobiliteitssysteem, heeft deze handschoen opgepakt en zowel haar werkprogramma als de achterliggende bredere agenda met innovatieopgaven en kennisvragen geactualiseerd. Dit document betreft de herijking van die innovatie- en kennisagenda.

1.1 Scope van dit document

In september 2019 zijn als bijlagen bij het programma² van Missie D+ twee documenten gepubliceerd met een gedetailleerd overzicht van alle op dat moment relevant geachte innovatie-opgaven en kennisvragen voor duurzame mobiliteit en logistiek^{3,4} en toekomstbestendige mobiliteitssystemen⁵. Veel van wat er in die documenten staat is nog steeds relevant en actueel. Maar als gevolg van voortschrijdende technologische ontwikkeling, ervaringen met de introductie en opschaling van innovaties en nieuwe inzichten, mede in het licht van de toegenomen urgentie voor verduurzaming, is een actualisatie wel aan de orde in de context van de gevraagde herijking van Missie D+. In plaats van een afzonderlijke actualisatie van de genoemde zeer gedetailleerde en uitgebreide achtergronddocumenten uit 2019 is er voor gekozen om één beknopter document op te leveren, waarin de focus ligt op innovatieopgaven en kennisvragen die de komende jaren met prioriteit moeten worden opgepakt.

Doel van dit document is nog steeds wel om een breed overzicht van innovatieopgaven en kennisvragen te presenteren, dat als inspiratie kan dienen voor de roadmaps en daarin geprogrammeerde onderzoeks- en ontwikkelactiviteiten van de verschillende betrokken topsectoren, kennisinstellingen en overheden en voor R&D-activiteiten van het Nederlandse bedrijfsleven. De inspanningen van Missie D+ voor het versnellen van innovatie en kennisontwikkeling voor duurzame, toekomstbestendige mobiliteitssystemen en logistiek zullen daarbij vooral gericht zijn op die onderwerpen uit het overzicht, die door de individuele stakeholders niet of niet voldoende (kunnen) worden opgepakt en of die onvoldoende van de grond komen omdat er bijvoorbeeld nieuwe (cross-sectorale of trans-disciplinaire) samenwerkingsvormen moeten worden geïnitieerd of nieuwe financieringsvormen moeten worden gevonden of ontwikkeld.

Een belangrijke verschuiving ten opzichte van 2019 is dat vragen nog meer liggen op het niveau van systeemveranderingen. Ontwikkeling van nieuwe technologie blijft belangrijk, maar er is meer aandacht voor wat er nodig is om de inzet en opschaling van bestaande en nieuwe innovaties te versnellen. En er is meer aandacht voor veranderingen op systeemniveau die nodig zijn om het mobiliteitssysteem op langere termijn structureel duurzaam en in bredere zin toekomstbestendig te maken. Die veranderingen op hogere systeemniveau's betreffen deels ook weer technische innovaties, maar in toenemende mate ook sociale en institutionele innovaties.

Bij de prioritering van innovatieopgaven en kennisvragen is versnelling van gewenste, en deels al door wet- en regelgeving afgedwongen, transitie dus een belangrijk uitgangspunt geweest. Aansluiting bij de kracht van het

² Zie: <https://www.topsectorenergie.nl/missies-energietransitie-en-duurzaamheid/missie-mobiliteit>

³ Innovatieopgaven voor duurzame mobiliteit - Detailuitwerking bij het Meerjarige Missie-gedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit (2020 – 2024)

⁴ In dit document wordt vaak gesproken over "mobiliteit". Soms staat daar expliciet "en logistiek(e diensten)" bij, maar in alle gevallen geldt dat beide bedoeld worden. Het gaat hierbij wat logistiek betreft om logistieke diensten in den brede: dus al het vervoer van goederen dat plaatsvindt ten dienste van economische activiteiten, ongeacht of een logistieke dienstverlener die dienst verleent of een verlader dat zelf doet.

⁵ Deel-KIA Toekomstbestendige Mobiliteitssystemen

Nederlandse innovatie-ecosysteem is een ander uitgangspunt. Een dergelijk Nederlandse perspectief leidt er bijvoorbeeld tot dat de benodigde technische ontwikkelingen op het gebied van voertuigaandrijving meer gericht zijn op zware toepassingen (bussen, vrachtwagens, schepen, mobiele werktuigen) dan op lichte voertuigen (personen- en bestelauto's).

1.1.1 Missie-gedreven innovatie voor mobiliteit en logistiek

De 1,5°C doelstelling uit het Klimaatakkoord van Parijs vraagt om een versnelde reductie van CO₂-emissies in de periode tot 2030-35 om de cumulatieve emissies van broeikasgassen tot het eind van deze eeuw binnen een eindig "carbon budget" te houden. Om die versnelling te realiseren moeten bestaande CO₂-reductiemaatregelen sneller worden geïntroduceerd en opgeschaald en moeten nieuwe opties versneld worden ontwikkeld en tot wasdom worden gebracht. Tegelijkertijd moet het mobiliteitssysteem klimaatadaptief worden gemaakt om bestand te zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering die met mitigerende maatregelen niet meer voorkomen kunnen worden.

Het mitigeren van en omgaan met klimaatverandering is niet de enige maatschappelijke uitdaging waar vanuit Missie D+ aan moet worden bijgedragen. Kijken we naar omgevingsfactoren, dan heeft mobiliteit, via de emissies van voer-, vaar- en vliegtuigen en via de infrastructuur, ook een belangrijke rol in (het oplossen van) problemen m.b.t. onder andere luchtkwaliteit en geluidhinder (en de gevolgen daarvan voor gezondheid), stikstofdepositie, afnemende biodiversiteit, versnippering van het landschap en waterkwaliteit.

Maar de ambitie van Missie D+ gaat verder dan enkel het verminderen van negatieve impacts van mobiliteit op mens en planeet. Met de ontwikkeling van duurzame, toekomstbestendige mobiliteitssystemen wil Missie D+ bijdragen aan het vormgeven van de wereld waarin wij willen leven. Met leefbare steden, die niet om de auto maar om de mens heen ontworpen zijn. En mobiliteit die ontplooiing mogelijk maakt voor iedereen en daarmee bijdraagt aan een inclusieve samenleving. Met de ontwikkeling van nieuwe afwegingskaders, en methoden en tools om dit handen en voeten te geven, wil Missie D+ bijdragen aan een paradigmaverandering van "predict & provide" naar "decide & provide" (of beter nog: "design, decide & provide").

In het *Programma voor de periode 2023 – 2026* is deze ambitie vertaald naar 3 transitiepaden die de komende periode centraal staan en samen met stakeholders nader uitgewerkt zullen worden:

1. Welzijn faciliteren in plaats van mobiliteit
2. Samen met mobiliteit de energietransitie versnellen
3. Mobiliteit in een duurzame, circulaire wereld

1.2 Opbouw van dit document

Om de innovatieopgaven en kennisvragen op een overzichtelijke manier te kunnen presenteren is gekozen voor de volgende indeling van hoofdstukken⁶:

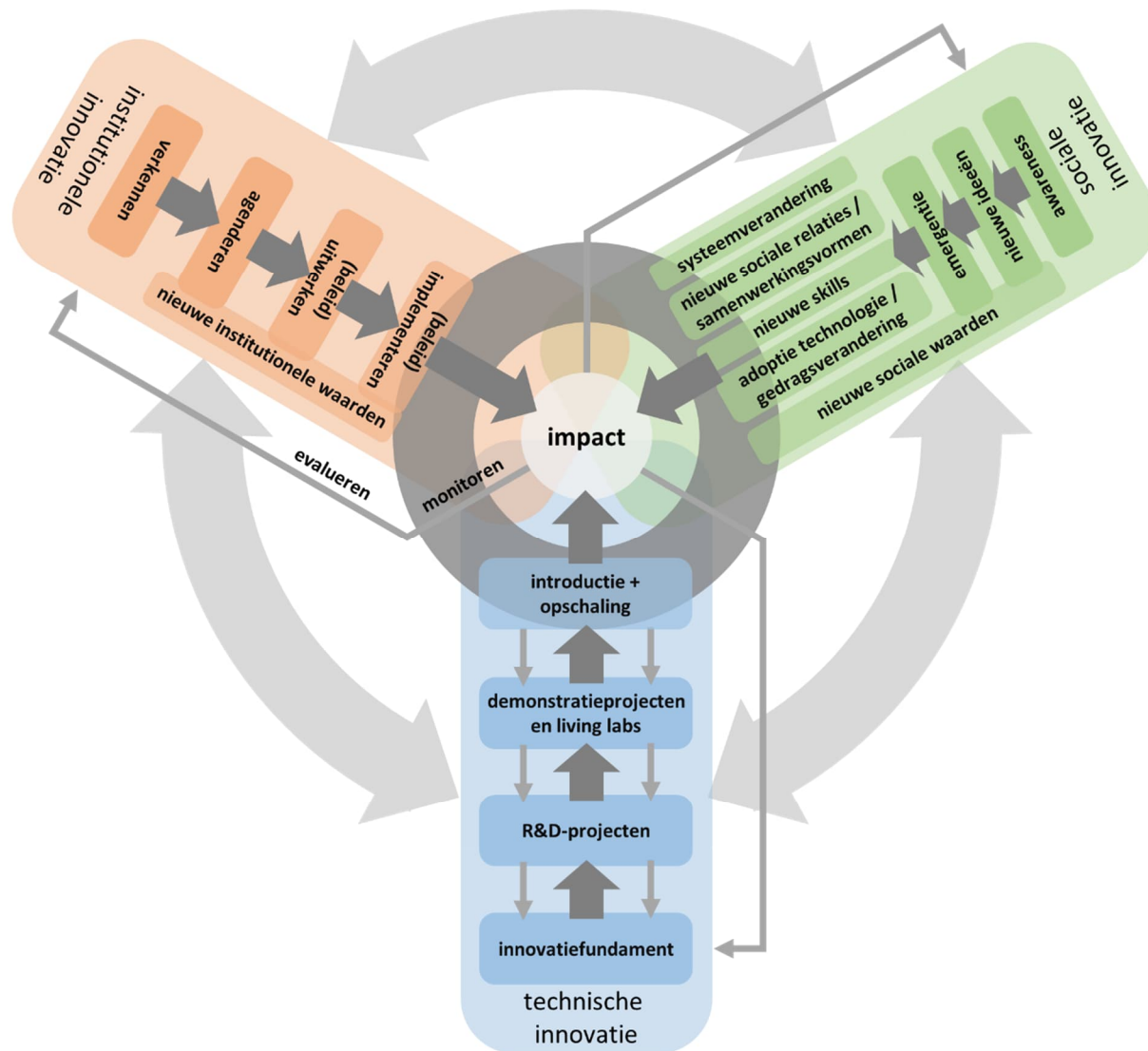
- Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers (hfdst. 2) met een focus op technische innovaties op het niveau van voertuigen en van de systemen die nodig zijn om deze in te kunnen zetten;
- Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek (hfdst. 3) met een focus op ontwikkelingen m.b.t. digitalisering, connectiviteit, automatisering en innovaties in mobiliteitsconcepten en -diensten;
- Brede kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie (hfdst. 4).

Via de onderliggende innovaties en kennisontwikkeling dragen al deze drie hoofdonderwerpen bij aan de alle drie hierboven genoemde transitiepaden.

⁶ In omgekeerde volgorde sluit de combinatie van de eerste twee pijlers aan bij de Trias Mobilica: verminderen, veranderen, verschonen.

Deze gekozen indeling weerspiegelt de hierboven genoemde verschuiving van technologieontwikkeling naar innovaties en kennisvragen op hogere systeemniveau's. In dat licht worden met name in de hoofdstukken 2 en 3 alle innovaties en kennisvragen ook opgedeeld in:

- Technische innovaties;
- Sociale innovaties⁷;
- Institutionele innovaties;
- Kennisvragen voor beleid en markt.



Hoewel stilistisch niet door eenieder gewaardeerd, worden de innovatieopgaven en kennisvragen zoveel mogelijk gepresenteerd in tabelvorm. Dit vergroot de toegankelijkheid van het document voor partijen die dit overzicht willen gebruiken als inspiratie voor hun eigen programmering van R&D en kennisontwikkeling of die bijvoorbeeld willen checken of hun eigen innovaties door Missie D+ als prioritair zijn aangemerkt.

Bij de hoofdstukken over “Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers” en “Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek” wordt ook aandacht besteed aan de onderzoeks- en testfaciliteiten die nodig zijn om ontwikkelingen op de verschillende onderwerpen te ondersteunen en te valideren en

⁷ Inclusief nieuwe waardeketens en verdienmodellen.

beproeven. Faciliteiten zijn een belangrijk onderdeel van de innovatie-ecosystemen, die nodig zijn om de gewenste ontwikkelingen tijdig tot een punt te brengen dat ze grootschalig geïmplementeerd kunnen worden.

Bovengenoemde indeling kan er toe leiden dat sommige onderwerpen niet worden genoemd op de plek waar de lezer ze in eerste instantie verwacht. Het categoriseren en ordenen van innovaties en kennisvragen wordt sowieso bemoeilijkt door het feit dat steeds meer ontwikkelingen met elkaar verweven raken, zoals de transitie naar elektrisch vervoer en de ontwikkeling van nieuwe mobiliteitsdiensten en voertuigconcepten. Daarnaast zijn logische structureringen soms een kwestie van smaak. Er zijn aspecten (zoals bijvoorbeeld circulariteit of inclusiviteit) die een rol spelen als innovatie-opgave of kennisvraag bij veel van de in de hoofdstukken 2 en 3 beschreven ontwikkelingen. Dergelijke generieke aspecten worden in die hoofdstukken wel her en der genoemd, maar in meer detail uitgewerkt in hoofdstuk 4.

1.3 State-of-the-art

Wat betreft de transitie naar duurzame aandrijftechnologie en energiedragers gaan ontwikkelingen in verschillende toepassingsgebieden in een verschillend tempo. In sommige toepassingen / modaliteiten is al aardig duidelijk wat het dominante alternatief wordt voor de huidige op verbrandingsmotoren en fossiele brandstoffen gebaseerde aandrijfsystemen of de huidige manier waarop we verkeer en vervoer organiseren. Soms heeft dat dominante alternatief zelfs al een significant en sterk groeiend marktaandeel (zoals batterij-elektrisch rijden voor personenauto's), terwijl in andere toepassingen nog verschillende opties worden ontwikkeld en beproefd (zoals batterijen, brandstofcellen en verbrandingsmotoren op duurzame brandstoffen voor zwaar wegverkeer en binnenvaart). Bijlage 1 geeft voor batterij-elektrische aandrijving, brandstofcellen en verbrandingsmotoren op duurzame brandstoffen in verschillende toepassingen een beknopt overzicht van de state-of-the-art, in termen van welke keuzes er al gemaakt zijn / lijken, waar al grootschalige marktintroductie plaatsvindt, waar nog gezocht wordt naar geschikte oplossingen en wat er nog ontwikkeld moet worden.

Zoals uit Bijlage 2 duidelijk wordt, is het voor slimme mobiliteit een stuk lastiger om de state-of-the-art compact samen te vatten. Slimme mobiliteit omvat een veelheid aan schaalniveaus (o.a. voertuig, verkeerssysteem, mobiliteitssysteem), verschijningsvormen (o.a. informatievoorziening aan bestuurders, datadelen tussen logistieke partijen, voertuigtechnologie, verkeersmanagement, platformdiensten) en gradaties (o.a. rijtaakondersteuning, optimalisatie doorstroming, automatisch rijden, etc.). In vrijwel alle modaliteiten zijn ontwikkelingen, praktijkproeven en eerste toepassingen van verschillende vormen van rijtaakondersteuning, connected voertuigen automatisch rijden / varen / vliegen gaanden. Mobility-as-a-Service en Self-Organising Logistics verknopen de verschillende modaliteiten. Digitale informatie- en communicatietechnologieën zijn belangrijke enablers. In een aantal gevallen is de dominante technologie of standaard al gekozen, maar vaak zijn er concurrerende opties in ontwikkeling. Die opties evolueren bovendien sterker in de tijd (vgl. opeenvolging van 3G/4G/5G) dan het geval is bij technologie voor duurzame aandrijving.

Ontwikkelingen op in de afgelopen jaren hebben vanzelfsprekend invloed op de innovaties en kennisvragen voor de komende jaren. Voor zowel duurzame als slimme mobiliteit en logistiek geldt dat ontwikkelingen die al goed op gang komen voor technische R&D minder ondersteuning nodig hebben vanuit het missiegedreven innovatiebeleid, terwijl de behoefte aan ondersteuning van randvoorwaardelijke ontwikkelingen t.b.v. marktintroductie en versnelde opschaling mogelijk toegenomen is. Hier is in de prioritering van innovatieopgaven nadrukkelijk rekening mee gehouden.

2 Duurzame aandrijftechnologie en energiedragers

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de voor de komende periode relevante innovatieopgaven en kennisvragen op het gebied van duurzame voertuig- en aandrijftechnologie en de voor die verduurzaming benodigde energiedragers en energiesystemen. Voor toepassings specifieke innovaties en generieke technologie / enablers worden de innovatie-opgaven en kennisvragen opgesplitst naar technische, sociale en institutionele innovaties en voor de verschillende onderwerpen relevante bredere kennisvragen voor beleid en markt. Economische aspecten spelen op al deze drie niveaus een rol. Nieuwe, duurzame aandrijftechnieken en energiedragers moeten voor de eindgebruiker betaalbaar zijn, terwijl de ontwikkeling en productie ervan een verdienenmodel moet opleveren voor de producenten. Sociale en institutionele innovaties zijn vaak nodig voor het creëren van een markt voor duurzame innovaties of de diensten die daarmee geleverd worden. Het ontwikkelen van op nieuwe technologie toegesneden standaardisering, certificering en toelating valt onder institutionele innovatie. Dit is van toepassing op alle in dit hoofdstuk genoemde innovaties en wordt daarom niet steeds apart benoemd.

Een aantal toepassingsoverstijgende innovatieopgaven (waaronder de ontwikkeling van verscheidene key enabling technologies (KETs)) en kennisvragen m.b.t. (versnelde) introductie en opschaling van oplossingen voor duurzame mobiliteit en logistieke diensten wordt in een aparte paragraaf behandeld. Deze toepassingsoverstijgende innovatieopgaven en kennisvragen hebben veelal een sterke relatie met de sector-brede en sectoroverstijgende kennisvragen die behandeld worden in hoofdstuk 4.

Naast ontwikkelingen i.r.t. energie en klimaat is er ook aandacht voor niet-CO₂-gerelateerde kennisvragen en innovatieopgaven voor duurzame mobiliteit en voor R&D-faciliteiten die nodig zijn als fundament voor het Nederlandse innovatie-ecosysteem voor duurzame mobiliteit en logistiek.

2.1 Toepassings specifieke innovaties

Elektrische LD wegvoertuigen (LEVs, personenvoertuigen, bestelvoertuigen)

Elektrische light-duty (LD) wegvoertuigen omvatten personenvoertuigen, bestelvoertuigen en light-electric vehicles (LEVs) met batterij-elektrische, plug-in hybride of brandstofcel-elektrische aandrijving. Batterij-elektrische voertuigen (BEVs) en brandstofcel-elektrische voertuigen (FCEVs) worden vaak samengevat onder de noemer zero-emission voertuigen (ZEVs). Maar omdat de definitie van ZE in verschillende contexten niet eenduidig is, wordt het begrip ZE hier niet gebruikt als classificering van technische ontwikkelingen.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • batterijtechnologie (zie paragraaf 2.2.1) • laadoplossingen, m.n. voor stedelijk gebied (zie paragraaf 2.2.1) <ul style="list-style-type: none"> ◦ o.a. dynamische laadinfrastructuur voor laadpleinen • technologie voor slim laden en laadinfrastructuur (zie paragraaf 2.2.1) • doorontwikkeling van LEVs
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • aanpassen van mobiliteitsgedrag voor maximale acceptatie en inzetbaarheid van EVs • innovaties in het mobiliteitssysteem voor personen- en goederenvervoer die inzetbaarheid van BEVs vergroten <ul style="list-style-type: none"> ◦ zie hoofdstuk 3 m.b.t. "Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek" • inpassing van LEVs en nieuwe bestelvoertuigen in logistieke systemen • nieuwe businessmodellen rondom elektrisch rijden en elektrisch laden • aftermarket en recycling voor BEVs en FCEVs
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • toelating van LEVs en inpassing in weg- en fietsinfrastructuur • regulering / marktordening / marktmechanismen voor o.a.: <ul style="list-style-type: none"> ◦ V2G functionaliteiten ◦ DC netwerken • data delen, bijv. voor optimalisatie interactie ZE vloot met energiesysteem

kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • ruimtelijke inpassing van grootschalige laadinfrastructuur in wijken en het lokale energienet • inpassing van grootschalige laadinfrastructuur in energiesysteem • inpassing van ZE bestelauto's in logistieke systemen • aanbod van betaalbare voertuigen en voldoende tweedehands markt voor inclusieve transitie • verdelingseffecten en relocatie als gevolg van ZE zones – welke respons verwachten we van welke doelgroepen? • rol van waterstof voor LD voertuigen • effecten van digitalisering en automatisering (zelfrijdende auto's) op de ontwikkeling, uptake en inzet van EVs • impact van de transitie naar duurzame mobiliteit op de Europese auto-industrie <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. rol van software-industrie en data ownership
-----------------------------------	---

Elektrische HD (weg)voertuigen (vrachtwagens, bussen, mobiele werktuigen)

Elektrische heavy-duty (HD) (weg)voertuigen omvatten bussen, vrachtwagens en mobiele werktuigen met batterij-elektrische, plug-in hybride of brandstofcel-elektrische aandrijving.

Batterij-elektrische voertuigen (BEVs) en brandstofcel-elektrische voertuigen (FCEVs) worden vaak samengevat onder de noemer zero-emission voertuigen (ZEVs). Maar omdat de definitie van ZE in verschillende contexten niet eenduidig is, wordt het begrip ZE hier niet gebruikt als classificering van technische ontwikkelingen. Voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor (H₂-ICE) vallen vanuit het perspectief van (directe) CO₂-emissies van de transportsector en de Europese CO₂-wetgeving voor zware wegvoertuigen bijvoorbeeld ook onder de definitie ZE, maar zijn niet zero emission van het perspectief van luchtkwaliteit. Ze worden hier behandeld onder "HD wegvoertuigen (vrachtwagens, bussen, mobiele werktuigen) op alternatieve brandstoffen".

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • batterijtechnologie (zie paragraaf 2.2.1) • laadoplossingen voor HD voertuigen (zie paragraaf 2.2.1) <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. energievoorziening / tank- en laadinfrastructuur voor mobiele werktuigen en vrachtwagens op bouwplaatsen en bouwlogistieke hubs • geofencing voor (plug-in) hybride trucks • brandstofcellen (zie paragraaf 2.2.1) en waterstof-tankinfrastructuur • predictive energy management • modulaire componenten en regelsystemen voor snelle ontwikkeling van producten • technologie voor (slim) laden en laadinfrastructuur (zie paragraaf 2.2.1) • elektrificatie van trailers • complete vehicle energy management regelstrategieën voor distributed powertrains (bijv. elektrificatie trailer) en mobiele werktuigen met allerlei auxiliaries
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • integratie van (het laden van) ZE-trucks en andere ZE-voertuigen in logistieke systemen / operaties <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. innovaties in supply chains en logistieke operaties die de inzetbaarheid van ZEVs vergroten • andere inzet van voertuigen in fleets om de inzetbaarheid van BEVs te vergroten • energie als een service <ul style="list-style-type: none"> ○ en bijbehorende nieuwe business modellen ○ hiervoor is kennis van de state of health van batterijen en fuel cells cruciaal • samenwerking tussen vervoerders en verladers <ul style="list-style-type: none"> ○ in vergroening van de vloot ○ toestaan dat voertuigen van vervoerder elektriciteit laden bij DC van verlader • nieuwe logistieke concepten voor ZE stadsdistributie

institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> wetgeving voor toestaan (P)HEVs met geofencing in ZE-zones toelating van elektrisch aangedreven trailers/dollies voor het mogelijk maken van ZE LZV/SEC, range extension, automatisch rangeren, etc. in Nederland en Europa data delen, bijv. voor optimalisatie van de interactie van een ZE vloot met het energiesysteem nieuwe financieringsmodellen voor duurzame fleets
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ruimtelijke inpassing van HD laadinfrastructuur inpassing van grootschalige laadinfrastructuur in het energienetwerk <ul style="list-style-type: none"> incl. inrichten van mobiliteitshubs als energiehubs 'slimme' inpassing die inspeelt op (lokaal) beschikbare duurzame energie en dynamische energieprijzen effectieve oplossingen voor distributie van H₂ naar tankstations inpassing van ZE vrachtwagens in logistieke systemen kansen voor alternatieve technologie: bijv. trekker wisselen of in-motion charging / electric road system mogelijkheden voor en effecten van opschaling van ZE-zones voor stadslogistiek

HD wegvoertuigen (vrachtwagens, bussen, mobiele werktuigen) op alternatieve brandstoffen

Onder alternatieve brandstoffen voor zware (weg)voertuigen worden hier verstaan H₂ en (vloeibare en gasvormige) biobrandstoffen en e-fuels⁸. Verbrandingsmotoren op duurzame brandstoffen blijven waarschijnlijk nodig voor een deel van de trucks, m.n. als oplossing voor lange-afstands en zwaar vervoer, en voor zwaar materieel dat minder/niet geschikt is voor elektrificatie vanwege hoge lasten en langdurige inzet (incl. bestaande machines met lange economische levensduren).

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> technische ontwikkelingen aan bijv. uitlaatgasnabehandeling, motormanagement of aanpassingen aan bijv. inspuiting of verbrandingsconcepten die op korte termijn nodig zijn om de aangescherpte emissienormen van Euro 7 te halen schone en efficiënte verbrandingsmotortechnologie voor H₂ (m.n. H₂-HPDI), biobrandstoffen en e-fuels technische maatregelen voor verlaging van brandstofverbruik, o.a. hybridisatie predictive energy and emission management productie, distributie en opslag van alternatieve brandstoffen (zie paragraaf 2.2.2)
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> integratie van duurzame brandstoffen en bijbehorende infra in logistieke systemen en operaties (m.n. voor H₂ en evt. andere opties die qua gebruik sterk afwijken van diesel)
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> H₂-ICE wel/niet toestaan in ZE-zone? wet- en regelgeving voor toepassing van duurzame brandstoffen, o.a. H₂ aanpassingen in EU-wetgeving om voor lange termijn de mogelijkheid voor inzet van duurzame carbon-based fuels open te houden
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> welke oplossing voor welke toepassing? <ul style="list-style-type: none"> vergelijking met andere alternatieven, zoals H₂-brandstofcel en batterij-elektrisch vergroten van inzicht in (de spreiding in) hoe trucks worden ingezet en in de segmenten waar elektrificatie geen geschikte optie is effectieve oplossingen voor distributie van H₂ naar tankstations hoeveel vraag naar H₂ / alternatieve brandstoffen blijft er op middellange / lange termijn over als elektrisch breed toepasbaar wordt? <ul style="list-style-type: none"> rentabiliteit van alternatieve tankinfrastructuur beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen

⁸ Synthetische brandstoffen geproduceerd door combinatie van (uit duurzame energie geproduceerde) waterstof en CO₂ (o.a. e-diesel, e-methanol, e-LNG) of waterstof en stikstof (e-NH₃: ammoniak). De benodigde CO₂ kan worden gewonnen uit puntbronnen bij energiecentrales of chemische processen (Carbon Capture and Utilisation - CCU) of uit de lucht (Direct Air Capture - DAC).

	<ul style="list-style-type: none"> ○ concurrentie om e-fuel met scheepvaart / luchtvaart en om H₂ / CO₂ / circulaire koolstof met industrie / chemiesector ● hoe managen we de transitie van “oude brandstofinfrastructuur” naar een “nieuwe brandstofinfrastructuur”? ● hoe schoon kan H₂-ICE worden?
--	--

Binnenvaart

Ontwikkelingen in motortechnologie voor de binnenvaart zijn nauwer verwant aan die voor vrachtwagens dan die voor zeeschepen. Vanwege de lange levensduur van binnenvaartschepen en de motoren daarvoor is retrofit van bestaande motoren voor deze toepassing een belangrijke optie. Tegelijkertijd is er de laatste jaren grote voortgang geboekt met elektrificatie (batterijen en brandstofcellen).

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● schone en efficiënte verbrandingsmotortechnologie voor H₂, biobrandstoffen en e-fuels (o.a. methanol) ● technologie voor retrofitten van bestaande motoren, en bijbehorende en brandstof- en veiligheidssystemen, voor toepassing van alternatieve brandstoffen ● toepassing van batterij- en brandstofcel-elektrische aandrijving <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. ZE duwbakken ● standaardisatie en modulair bouwen van schepen ● brandstofceltechnologie (zie paragraaf 2.2.1): <ul style="list-style-type: none"> ○ PEMFC-systemen en ontwikkeling en toepassing van SOFC ● tank- en laadinfrastructuur ● energiebesparende technologie <ul style="list-style-type: none"> ○ luchtsmering, efficiëntere romp en voorstuwing, decision support systemen, etc.
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● inpassen van elektrisch laden of energy swap (bijv. batterij- of waterstofcontainer) in het vaarschema ● integratie van duurzame brandstoffen en bijbehorende infra in logistieke systemen en operaties
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● standaarden en regelgeving voor (veilige en schone) toepassing van duurzame brandstoffen, o.a. H₂, methanol ● hypotheeklast huidige vloot oplossen
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ● welke oplossing voor welke toepassing? <ul style="list-style-type: none"> ○ vergelijking met andere alternatieven, zoals H₂-brandstofcel en batterij-elektrisch ● inpassing van laadinfrastructuur voor binnenvaart in het energienetwerk <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. inrichten van mobiliteitshubs als energiehubs ● effectieve oplossingen voor distributie van H₂ en andere alternatieve brandstoffen / energiedragers ● hoe synergie met andere binnenvaartlanden optimaal benutten in deze transitie? ● beter onderzoeken / onderbouwen van het groeipotentieel voor binnenvaart <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. (mitigatie van) effecten van klimaatverandering ○ beschikbare capaciteit infrastructuur / congestie ○ zie ook hoofdstuk 3 m.b.t. “Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek” ● hoe ondersteunen we de transitie naar ZE aandrijving terwijl we de economische levensvatbaarheid van deze sector in stand houden?

Spoor

De betrokkenheid van Nederlandse bedrijven bij ontwikkeling en productie van spooormaterieel is relatief bescheiden. Dat betekent dat op het gebied van ontwikkeling van aandrijftechnologie de aandacht meer moet uitgaan naar “ervaring opdoen met” duurzame aandrijftechnologie (bijv. middels pilots) dan stimulering van R&D. Benodigde innovaties betreffen enerzijds verduurzaming van niet-geëlektrificeerde lijnen (voor personen- zowel als goederenvervoer) en anderzijds systeeminnovaties om geëlektrificeerde lijnen verder te verduurzamen of een constructieve rol te laten spelen in de verduurzaming van het elektriciteitssysteem.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • toepassing van batterij- en brandstofcel-elektrische aandrijving <ul style="list-style-type: none"> ○ voor niet-geëlektrificeerde lijnen ○ op geëlektrificeerde lijnen voor vermijden van verzwaring van bovenleiding en netaansluiting • schone en efficiënte verbrandingsmotortechnologie voor duurzame brandstoffen • technische middelen voor slimmere samenwerking tussen bovenleidingnetwerk en algemene energienetwerk
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • load management door flexibel aanpassen van treinoperaties en optimalisatie van het snelheidsprofiel binnen de beschikbare slots voor vertrek, doorkomst en aankomst <ul style="list-style-type: none"> ○ ondersteund door smart technologie
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • slimmere samenwerking tussen bovenleidingnetwerk en algemene energienetwerk
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • rol van bestaande en nieuwe energie-infrastructureur van tram, metro en trein als basis voor een energiehub

Zeescheepvaart

De Nederlandse innovatie-agenda voor verduurzaming van zeescheepvaart is uitgebreid beschreven in het Maritieme Masterplan⁹. Hieronder volgt een samenvatting van belangrijke aandachtspunten.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • verbrandingsmotoren op alternatieve brandstoffen <ul style="list-style-type: none"> ○ methanol / ammoniak / etc. • productie en distributie van alternatieve brandstoffen (zie paragraaf 2.2.2) • on-board carbon capture & storage (CCS) • innovaties m.b.t. aandrijflijn en voortstuwing • energiebesparende technologieën <ul style="list-style-type: none"> ○ bijv. luchtsmering, hulp-wind voorstuwing, foils, voortstuwars, etc. • geschikte simulatietechnologie om innovaties in gecontroleerde omgevingen te kunnen testen en vergelijken (+ digital twin als basis voor operationeel advies)
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • --
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • --
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • welke alternatieve brandstof / energiedrager voor welke toepassing? • beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen / energiedragers <ul style="list-style-type: none"> ○ concurrentie om e-fuel met luchtvaart en om H₂ / CO₂ / circulaire koolstof met industrie / chemiesector • veiligheids- en milieurisico's van alternatieve energiedragers als methanol en NH₃ • impact van de trend naar meer robuuste en kortere supply chains op de groei / ontwikkeling van de maritieme sector

Luchtvaart

In 2018 heeft de luchtvaartsector een gezamenlijk actieplan opgesteld om de CO₂-uitstoot terug te brengen. Dit plan heeft als input gediend voor het akkoord van de Duurzame Luchtvaarttafel. Hierin staat de inzet om aan te sluiten bij de klimaatdoelstellingen voor 2030. De bredere kabinetsvisie op de luchtvaart staat uiteengezet in de Luchtvaartnota 2020-2050. Duurzame luchtvaart is hiervan een onderdeel. Op Europees niveau zijn de doelen gevat in Destination 2050¹⁰. In juli 2021 heeft de Europese Commissie een pakket aan maatregelen

⁹ Zie: <https://maritiemland.nl/masterplan-voor-een-emissieloze-maritieme-sector-maritiem-masterplan/>

¹⁰ Zie: <https://www.destination2050.eu/>

uitgebracht onder de naam Fit-for-55 met daarin onder andere een voorstel voor kerosinebelasting, het bijmengen van duurzame brandstoffen (SAF) en het aanscherpen van het emissiehandelssysteem (ETS).

Belangrijke technologische ontwikkelingen vinden momenteel plaats met hulp van Nederlandse en Europese subsidie, onder andere via de Subsidieregeling R&D Mobiliteitssectoren (RDM), de TSH Vliegtuigmaakindustrie voor aansluiting op Clean Aviation (de opvolger van CleanSky), het Nationaal Groeifonds en de Green Deal. Belangrijke projecten hierbij zijn o.a. Luchtvaart-in-transitie, TULIPS en ClimOp.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • (batterij-/brandstofcel-) elektrische aandrijving van kleine toestellen / toestellen voor korte afstanden • waterstof-aandrijflijnen en -systemen in vliegtuig en op de grond • biobrandstof / e-fuels (SAF¹¹) voor grote luchtvaart • hybride toestellen voor schone / stille start en landing • VTOL / STOL¹² • nieuwe (lichte / duurzame) materialen • andere vormgeving van vliegtuigen t.b.v. optimalisatie van luchtweerstand (en dus energiegebruik)
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • acceptatie van elektrisch vliegen op meer en kleine vliegvelden • acceptatie van Advanced Air Mobility (AAM) en Urban Air Mobility (UAM) boven bewoond gebied
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • meer kleinschalige /regionale vliegvelden voor ZE vliegtuigen? • regelgeving m.b.t. geluid, milieu en veiligheid voor nieuwe vormen van luchtvaart
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • concurrentie om e-fuels met scheepvaart en om H₂ / CO₂ / circulaire koolstof met industrie / chemiesector • impact e-fuels en waterstof op niet-CO₂-gerelateerde radiatieve forcing • potentieel van andere mitigerende maatregelen voor niet-CO₂-gerelateerde klimaateffecten van luchtvaart • potentieel van elektrisch vliegen en H₂ richting 2035 en post 2050 <ul style="list-style-type: none"> ○ o.a. verkenning van de kansen voor elektrificatie van grotere toestellen voor langere afstanden en de kansen voor NL industrie om daarvoor technologie toe te leveren • milieu-impact van ZE-vliegtuigen t.o.v. trein op afstanden tot 500 km • meerwaarde van Advanced Air Mobility (AAM) en Urban Air Mobility (UAM) <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. impact van 2D → 3D op multimodaal vervoer en MaaS

2.2 Generieke technologie / enablers

Een aantal technische ontwikkelingen is relevant voor meerdere van de hierboven beschreven toepassingsspecifieke innovaties. Het gaat dan om technologieën die als enablers kunnen worden beschouwd voor bredere innovaties en waar in de regel ook fundamenteel onderzoek aan plaatsvindt, los van de specifieke toepassingen. Voor al deze technologieën is het slim om goed te onderzoeken welke kansen hier voor Nederland (industrie, kennisinstellingen, dienstverleners) liggen, zoals bijvoorbeeld recent in kaart gebracht voor batterijen in de Actieagenda Batterijsystemen. Daarbij is het belangrijk om goede aansluiting te hebben bij mainstream ontwikkelingen maar ook om oog te hebben voor interessante technologische niches en “witte raven” (bijv. technologieën die geen brede toepassing zullen kennen maar wel nieuwe dingen mogelijk maken in specifieke toepassingen).

¹¹ Sustainable Aviation Fuels

¹² Vertical Take-Off and Landing / Short Take-Off and Landing

2.2.1 Componenten

Batterijen

Voor een uitgebreider toelichting op de prioritaire innovatieopgaven en kennisvragen voor batterijen wordt verwezen naar de Actieagenda Batterijsystemen¹³ (voorheen Nationaal Actieplan Batterijen) en het Strategisch Plan Battery Competence Centre¹⁴.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkelingen in batterijtechnologie en productiemethoden voor het verlagen van kosten en het verhogen van levensduur • batterijmodules / batterijsystemen m.n. voor zware toepassingen • (geautomatiseerde) productie-/assemblagemethoden voor batterijmodules • battery management system / state-of-health monitoring <ul style="list-style-type: none"> ○ thermal management ○ inpassing in powertrain / energy management system van voertuig ○ verlagen kosten ○ verbeteren levensduur ○ batterijpaspoort • volgende generaties batterijtechnologie, zoals vaste-stof Li-batterijen, organische batterijen, etc. <ul style="list-style-type: none"> ○ nieuwe batterijmaterialen en productieprocessen hiervoor • "circulaire" technologie en systemen <ul style="list-style-type: none"> ○ design for recyclability ○ second-use en recycling van batterijsystemen ○ technologie voor recycling
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • modulaire concepten voor batterijpakketten • aansluiting NL ecosysteem (industrie + kennisinstellingen) op Europese ontwikkelingen • ontwikkelen van infrastructuur en waardeketens voor inzameling en recycling
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • standaardisatie, o.a. m.b.t. batterijmodules • regulering m.b.t. batterijpaspoort • ontwikkelen / implementeren van Europese productieketens
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • beschikbaarheid van schaarse grondstoffen • veiligheidsaspecten, bijv. bij inpandig stallen / laden van voertuigen • beter inzicht in veroudering van batterijen in de praktijk als functie van de inzet • impact van nieuwe batterijtechnologieën op prestaties, potentieel en business case voor batterij-elektrische aandrijving • kennisvragen t.b.v. het uitwerken van een robuuste EU roadmap voor ontwikkeling van een eigen batterij-industrie

Technologie en concepten voor slim laden en laadinfrastructuur

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • technologie voor hoog-vermogen laden <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. technologie voor het vermijden van piekbelasting op het energienet, bijv. met gestuurd laden of een bufferbatterij • technologie voor slim laden (zowel hardware als software) • verbinden van slim laden met ontwikkelingen op het gebied van smart mobility (zie hoofdstuk 3) • concepten voor laadpleinen voor logistiek • dynamische laadinfrastructuur voor laadpleinen • verdere ontwikkeling alternatieve laad- en energietoevoermethoden:
----------------------	--

¹³ Zie bijv.: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/09/23/2022195013-1-nationale-actieagenda-batterijsystemen>

¹⁴ <https://batterycompetencecenter.nl/>

	<ul style="list-style-type: none"> ○ inductief laden ○ in-motion charging en electric road systems ● cybersecurity ● aansluiten van laadinfrastructuur via DC distributienetten <ul style="list-style-type: none"> ○ synergie met ontwikkelingen in de gebouwde omgeving ● specifieke technologieën voor betere integratie in energiesystemen <ul style="list-style-type: none"> ○ vehicle-to-grid (V2G) functionaliteit ○ incl. rol van microgrids ○ mogelijkheden voor mobiele batterijsystemen om bij te dragen aan lokale energietekorten ● specifieke technologieën en methoden voor betere integratie in logistieke systemen en concepten ● onderzoek naar (opties voor verminderen van de) invloed van het laden van elektrische voertuigen op de power quality
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● nieuwe marktmodellen voor slim laden ● nieuwe marktmodellen voor het 'delen' van aansluitingen
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● standaarden en protocollen <ul style="list-style-type: none"> ○ ook voor DC netwerken ● aanpassen van wetgeving / beleid voor verkorten van de doorlooptijd van realisatie van (publieke) laadinfra ● inpassing in de ruimtelijke ordening ● nieuwe vormen van marktordening en marktregulering t.b.v. elektrisch laden voor verschillende toepassingen (publiek / semi-publiek / privaat, particulier / zakelijk) <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. aanpassing wetgeving om aansluitingen anders te gebruiken/delen
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ● rol van opschaling van elektrische vervoer en slim laden in de verduurzaming van energiesysteem, m.n. op niveau van wijken en bedrijfsterreinen ● meer inzicht in de waarde van slim laden vanuit verschillende perspectieven <ul style="list-style-type: none"> ○ voorkomen van netcongestie, betere benutting van duurzame energie en daarmee reductie van CO₂-emissies ○ business cases voor slimme laadinfrastructuur ● hoe zorgen dat slim laden ook bij thuis laden de norm wordt? <ul style="list-style-type: none"> ○ wat vraagt dit qua normering, marktmechanismen en regulering? ● haalbaarheid van / potentieel voor alternatieve laad- en energietoevoermethoden

Brandstofcellen

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● ontwikkelingen in brandstofceltechnologie en productiemethoden voor het verlagen van kosten en het verhogen van de levensduur ● doorontwikkeling of optimalisatie van PEM¹⁵ brandstofceltechnologie ● alternatieve brandstofceltechnologie, m.n. SOFC¹⁶ ● thermal management ● state-of-health monitoring ● toepassing van andere brandstoffen / energiedragers dan waterstof ● "circulaire" technologie en systemen <ul style="list-style-type: none"> ○ design for recyclability ○ second-use en recycling van brandstofsysteem ○ technologie voor recycling
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● --

¹⁵ Proton Exchange Membrane Fuel Cell

¹⁶ Solid Oxide Fuel Cell

institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • standaardisatie, m.n. van modulaire systemen
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • beschikbaarheid van schaarse grondstoffen • beter inzicht in de veroudering van brandstofcellen in de praktijk als functie van de inzet

Overige relevante innovaties m.b.t. componenten voor voertuigen

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • fotovoltaïsche systemen (PV) voor toepassing in voertuigen en integratie van fotovoltaïsche systemen in voertuigen • lichtgewicht materialen • duurzame materialen (van duurzame grondstoffen, recyclebaar)
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • --
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • --
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • inzicht in de impact van PV in voertuigen op de behoefte aan laden en laadinfrastructuur en de rol van voertuig-geïntegreerde PV en vehicle-to-grid functionaliteit in de energietransitie op het niveau van wijken en bedrijventerreinen • circulariteit van nieuwe lichtgewicht materialen

2.2.2 Brandstoffen / energiedragers

Innovaties voor productie, opslag en transport van waterstof en synthetische brandstoffen worden geagendeerd in Missie A (productie van waterstof) en Missie C (productie van duurzame synthetische brandstoffen) en missie-overstijgende programma's zoals de Meerjarige programmatische aanpak voor waterstof¹⁷ en opgepakt in samenwerkingsprogramma's als Voltachem¹⁸. Deze innovatie-opgaven worden hieronder derhalve slechts beknopt benoemd. De focus in deze paragraaf ligt op innovaties en kennisvragen die specifiek relevant zijn voor toepassing van de verschillende brandstoffen / energiedragers in mobiliteit en transport. Innovatie-opgaven m.b.t. transport in de missies A en C gaan vooral over grootschalig transport over lange afstanden (van productieregio naar regio waar energiedragers gebruikt worden), niet over distributie t.b.v. vervoerstoepassingen.

Waterstof

De toepassing van waterstof in transport maakt onderdeel uit van een bredere transitie m.b.t. de productie, distributie en inzet van waterstof. Zie voor de daarbij behorende bredere kennis- en innovatie-agenda de *Herijking meerjarige programmatische aanpak voor waterstofinnovatie* (definitief concept 12 oktober 2022).

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • productieprocessen verbeteren, kosten reduceren (Missie A) • technologie voor lokale productie nabij tankstations • technologie voor transport van waterstof over langere afstanden <ul style="list-style-type: none"> ○ bijv. middels (vaste of vloeibare) waterstofdragers ○ technologie voor veilige en lichte tanks • technologie voor goedkopere, efficiëntere distributie • tanksnelheid verhogen • opslagsystemen (o.a. lichtgewicht 700 bar tanks) • vulsystemen voor hoge druk • technologie voor het monitoren van H₂-kwaliteit
----------------------	--

¹⁷ <https://www.topsectorenergie.nl/meerjarige-programmatische-aanpak-voor-waterstof>

¹⁸ <https://www.voltachem.com/>

	<ul style="list-style-type: none"> • goedkope, robuuste systemen voor op kwaliteit brengen van H₂ • waterstofmeters
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkeling van nieuwe waardeketens
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • standaarden voor distributie en waterstofkwaliteit • regulering m.b.t. veiligheid / functional safety
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • optimale distributiemethode en netwerk voor toepassing van waterstof in mobiliteit (incl. lokale productie) • waterstofkwaliteit in distributienetwerk: lokaal zuiveren of lokaal opwekken? • beschikbaarheid: concurrentie om H₂ met industrie / chemiesector <ul style="list-style-type: none"> ○ welke inzet in mobiliteit levert bij beperkte beschikbaarheid meeste baten?

Biobrandstoffen

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • productieprocessen verbeteren, kosten reduceren • geavanceerde biobrandstoffen uit algen en wieren
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkeling van nieuwe waardeketens
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • regulering voor focus op biobrandstoffen met laagste WTW-emissies en landgebruik
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • welke biobrandstof voor welke toepassing? • beschikbaarheid van feedstock, landgebruik en concurrentie met voedsel en andere toepassingen • inpassing / integratie in een duurzaam energiesysteem en duurzaam chemisch industrieel systeem

E-fuels

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • productieprocessen verbeteren, kosten reduceren (Missie C) • Direct Air Capture
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkeling van nieuwe waardeketens, zowel binnen NL als voor import van duurzame energiedragers en feedstocks
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • standaarden en regelgeving voor toepassing van alternatieve e-fuels (bijv. methanol) • CO₂-handelssysteem ontwikkelen / geschikt maken om (eventueel aan boord van schepen) opgevangen CO₂ te koppelen aan groene H₂-productie
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • welke e-fuel voor welke toepassing? <ul style="list-style-type: none"> ○ vergelijking met andere alternatieven, zoals H₂ en elektrisch • in NL produceren of importeren? <ul style="list-style-type: none"> ○ waarde van strategische onafhankelijkheid vs. beschikbaarheid van ruimte en duurzame energie • inpassing / integratie in een duurzaam energiesysteem en duurzaam chemisch industrieel systeem • ruimtebeslag en ruimtelijke inpassing • impact op het NL (petro)chemisch cluster en de logistieke rol van (lucht)havens als mainports? • concurrentie om e-fuel tussen wegtransport / scheepvaart / luchtvaart en om H₂ / CO₂ / circulaire koolstof met industrie / chemiesector

2.2.3 Digitalisering

Smart technologie is niet alleen belangrijk voor smart mobility, het speelt ook een steeds grotere rol in de verduurzaming van voertuigen. Energiemanagement in voertuigen vergt steeds complexere software en hardware en is in toenemende mate connected. Routeplanning en verkeersdata maken bijvoorbeeld een betere voorspelling en optimalisatie van energiegebruik en actieradius mogelijk. Data over de inzet van grote aantallen voertuigen maakt het mogelijk om de vraag naar elektriciteit voor het opladen van elektrische voertuigen beter naar plaats en tijd te voorspellen. Wanneer de voertuigen laden, maken slimme algoritmen het mogelijk om dat enerzijds met zo weinig mogelijk piekbelasting van het net te doen en anderzijds om de voertuigen een functie als buffer in het net te laten vervullen.

Deze digitalisering wordt mogelijk gemaakt door een aantal key enabling technologies, zoals sensortechnologie, toenemende rekenkracht van on-board elektronica, communicatietechnologie (zoals 5G) en kunstmatige intelligentie (AI). De ontwikkeling van deze technologie valt formeel buiten de scope van Missie D+. Maar goed zicht houden op die ontwikkelingen, en wat ze in de toekomst voor duurzame mobiliteit kunnen betekenen, is wel belangrijk. Ook kan er vanuit de toepassingsgebieden, zoals verduurzaming van voertuigen, specifieke vraagstukken plaatsvinden voor de verdere ontwikkeling van verschillende sleuteltechnologieën om te zorgen dat technologie wordt ontwikkeld die optimaal kan worden ingezet voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

2.3 Innovatie-opgaven en kennisvragen m.b.t. (versnelde) introductie en opschaling van oplossingen voor duurzame mobiliteit en logistiek

2.3.1 Klimaat-gerelateerde kennisvragen

Het eindige (cumulatieve) CO₂-budget dat volgt uit de ambitie om klimaatverandering te beperken tot een maximale mondiaal gemiddelde opwarming van 1,5 °C vereist extra reductie van CO₂-emissies voor 2030. Hoewel de benodigde bijdrage vanuit mobiliteit en logistiek aan die aangescherpte doelstelling niet vaststaat, ligt het voor de hand dat ook de mobiliteitssector op zoek gaat naar extra reducties die op korte termijn gerealiseerd kunnen worden. Op hoofdlijnen zijn daarvoor de volgende opties beschikbaar:

- Vergroten van de effectiviteit / impact van staand beleid (maar dat is eigenlijk al nodig om de oorspronkelijke doelen van het Klimaatakkoord te halen¹⁹);
- Aanvullende reducties realiseren d.m.v.:
 - Vergroten van de bijdrage van reductie-opties waar al op wordt ingezet;
 - Aanvullende reductie-opties implementeren;
 - Wegnemen van belemmeringen voor opschaling van reductie-opties.

Voor al deze opties is mogelijk ook beleidsinnovatie nodig.

In deze context is er een window of opportunity voor (smart) maatregelen die aangrijpen op volume (het aantal personen-, goederen- en voertuigkilometers) en het energiegebruik per kilometer. Zolang een belangrijk deel van de vloot bestaat uit voertuigen die fossiele brandstof gebruiken, kan langs die weg worden bijgedragen aan het realiseren van CO₂-reducties.²⁰

Wanneer bestaande, marktrijpe innovaties voor 2030 versneld worden ingezet, wordt ook een versnelling nodig van het innovatietraject voor opties die nodig zijn om na 2030 verdere reducties te realiseren. Dit geldt met name voor zgn. "hard-to-abate" deelsectoren, waarvoor geschikte verduurzamingsopties nu nog niet bekend zijn of nog verre van marktrijp.

¹⁹ Zie de Klimaat en Energieverkenning 2022: <https://www.pbl.nl/kev>

²⁰ Zie o.a. paragraaf 3.1.1 over "Smart-4-Sustainable".

In het kader van een dergelijke versnelling in implementatie van bestaande oplossingen en ontwikkeling van nieuwe oplossingen, zijn onder meer de volgende kennisvragen en onderzoeksactiviteiten in algemene zin relevant:

- Hoe kan CO₂-emissiereductie in mobiliteit en logistiek worden versneld tussen nu en 2030, zodat de transportsector een grotere bijdrage levert aan de 2030 doelstelling?
 - Welke beschikbare reductiemaatregelen kunnen sneller worden opgeschaald en hoe kan die opschaling versneld worden?
 - Welke factoren belemmeren nu een snelle introductie en hoe kunnen die worden weggenomen?
 - Welke bestaande ontwikkelingen / factoren faciliteren een snellere introductie en hoe kunnen die aangemoedigd worden?
 - Welke extra reductiemaatregelen zijn mogelijk en hoe kunnen die worden geïmplementeerd?
 - Welke innovaties moeten daarvoor worden versneld?
- Kennis van de (ontwikkeling van) kosten en waarde van verschillende duurzame technologieën;
- Bredere technology assessments daar waar oplossingen nog niet uitgekristalliseerd zijn;
- Hoe kunnen consumenten en ondernemers effectief gestimuleerd worden om de transitie te omarmen en nieuwe technologie te adopteren?
 - Inzet van "quintuple helix"²¹
- Hoe kan laad- en tankinfrastructuur voor elektrische en andere duurzame voertuigen worden geïntegreerd in de stedelijke omgeving en het lokale / regionale energiesysteem?
 - Potentie van lokale opwek en buffering?
 - Potentie van digitale infrastructuur / smart charging / smart grids / smart sharing?
- Wat kan er op lokaal, regionaal en nationaal niveau worden gedaan om te zorgen dat er snel voldoende laadfaciliteiten op het net kunnen worden aangesloten?
- Wat zijn geschikte oplossingen voor verduurzaming van modaliteiten waar batterij-elektrisch (nog) geen bruikbare oplossing is?
 - Welke duurzame energiedragers / brandstoffen kiezen voor "hard-to-abate" sectoren (long haul wegtransport, binnenvaart, zeescheepvaart, mobiele werktuigen, luchtvaart)?
 - Optimale keuze van energiedrager en aandrijving vanuit het perspectief van toepassingen en vanuit systeemperspectief;
 - Hoe kunnen we scheepvaart en luchtvaart van grote hoeveelheden duurzame brandstoffen / energiedragers voorzien? Hoe interacteren die oplossingen met de energietransitie in andere sectoren? Wat betekent de energietransitie in wegtransport, scheepvaart en luchtvaart voor het petrochemisch cluster in Nederland en voor de rol van Rotterdam als mainport? En voor de behoefte aan eigen productie en import van duurzame energie?
 - Hoe kan de transitie worden versneld en welke innovaties zijn er daarvoor nodig in de waardeketens?
- Kennis van niet-CO₂-gerelateerde klimaat effecten van luchtvaart en van de impacts van nieuwe aandrijftechnologieën en brandstoffen (zoals effect van waterdamp bij vliegen op waterstof) en van mogelijk mitigerende maatregelen;
- Monitoring van de effectiviteit van oplossingen in de praktijk, met aandacht voor:
 - Praktijkverbruik van zuinige en ZE-voertuigen;
 - Well-to-wheel en lifecycle impacts in de praktijk;
 - Rebound-effecten.

Bredere kennisvragen m.b.t. de rol van smart mobility en veranderingen in het systeem voor mobiliteit en logistiek als geheel bij het halen van klimaatdoelen voor de korte en langere termijn worden behandeld in paragraaf 3.7.

²¹ Zie Missie D+: *Programma voor de periode 2023 – 2026*

2.3.2 Niet-klimaatgerelateerde kennisvragen en innovatie-opgaven voor duurzame mobiliteit

De duurzaamheid van vervoermiddelen gaat niet alleen over CO₂ of andere broeikasgassen. Voor luchtkwaliteit en impacts op gezondheid en natuur zijn ook andere emissies van belang, zowel van chemische componenten alsook van geluid en trillingen. En vanuit de betekenis van duurzaamheid als “volhoudbaarheid” is ook de inzet van eindig voorradige materialen een issue.

Kennisvragen m.b.t. emissies van alle modaliteiten

De grotendeels op praktijkemissies gebaseerde Euro 6/VI normen voor wegvoertuigen hebben er voor gezorgd dat de emissies van deze categorieën voertuigen inmiddels op een zeer laag niveau zijn. De in voorbereiding zijnde Euro 7 normen²² vormen een eindstadium in deze ontwikkeling waarbij de focus vooral ligt op het over de hele levensduur van het voertuig handhaven van de met de toegepaste motor- en uitlaatgasnabehandelingstechnologie gerealiseerde lage emissieniveaus. Daarmee daalt de bijdrage van wegverkeer in de totale emissies van de mobiliteitssector nog verder en verschuift de aandacht in dit werkveld naar modaliteiten waar emissies nog op een hoger niveau liggen.

Voor het ontwikkelen van effectief milieubeleid voor mobiliteit is van groot belang om gedegen kennis te hebben van de praktijkemissies van voertuigen in alle modaliteiten. Daarvoor is onder meer onderzoek en ontwikkeling op de volgende thema's belangrijk:

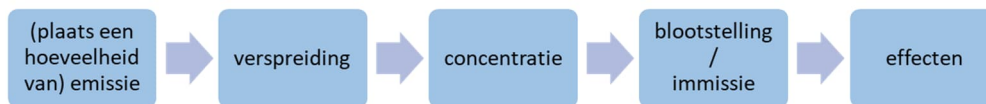
- Gedegen kennisbasis voor emissies van wegverkeer onderhouden:
 - Voor beleid met grote consequenties:
 - NSL/SLA, stikstofdossier;
 - EU bronbeleid en nationale implementatie / verplichtingen;
 - Kennisvoorsprong maakt anticiperen in plaats van reageren mogelijk;
 - Focus op lage emissies over de gehele levensduur:
 - Methoden voor monitoring en handhaving i.r.t. in-service eisen in de Europese wetgeving;
- Emissies van andere modaliteiten:
 - Mobiele werktuigen, binnenvaart, scheepvaart, luchtvaart, etc.;
 - Kennis van op zelfde niveau brengen als van wegverkeer:
 - Samenstelling en inzet van de voertuigvloot;
 - Emissiefactoren van voertuigen;
 - Test-, meet- en monitoringmethoden (real-world);
 - Technische maatregelen voor emissiereductie ontwikkelen:
 - Voor nieuwe voertuigen en retrofit;
- Emissies van voor beleid m.b.t. nieuwe (d.w.z. eerder niet gereguleerde) stoffen:
 - o.a. N₂O, NH₃, PN;
- Niet-uitlaatemissies: slijtage van remmen, banden en wegdek:
 - Meet- en monitoringsmethoden;
 - Kennis van emissies;
 - Technische maatregelen voor emissiereductie ontwikkelen;
- Naar zero-impact mobility (WHO-benadering):
 - Welke emissieniveaus zijn hiervoor nodig?
- Geluid, met onder andere aandacht voor:
 - Stillere banden voor m.n. EVs (met behoud van rijeigenschappen en verkeersveiligheid);
 - Geluidsemissies van innovatieve vervoersconcepten, bijv. drones en Regional / Urban Air Mobility (R/UAM).

²² De Europese Commissie heeft op 10 november 2022 een voorstel gepresenteerd:
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6495

Kennisvragen m.b.t. luchtkwaliteit / stikstofdepositie / impacts

Om effectiever te kunnen sturen op vermindering van gezondheids- en milieu-impacts (inclusief schade aan natuur / biodiversiteit) van emissies van mobiliteit en logistiek is naast inzicht in de emissies ook kennis nodig van hoe deze emissies gevolgen hebben voor mens en natuur. Relevante kennisvragen en innovatie-opgaven in die context zijn o.a.:

- Op welke specifieke emissiecomponenten moet milieubeleid voor mobiliteit zich richten om effectief verdere verlaging van gezondheidsimpacts te bereiken?
 - Meer kennis nodig van de causale effectketen:



- Hoe laag moeten de emissies van voer-, vaar- en vliegtuigen zijn om tot verwaarloosbare impacts op gezondheid, milieu en natuur te komen?
- Niet-uitlaat gerelateerde fijnstof-emissies (slijtage van banden, remmen en wegdek):
 - Wat is de impact op milieu en gezondheid?
 - Hoe kunnen deze emissies beter in kaart gebracht worden?
 - Hoe kunnen deze emissies worden verminderd?
- Verbetering in de manier waarop verkeersgerelateerde aspecten worden meegenomen in de berekening van impacts van bouw- en andere projecten op de stikstofdepositie;
- Kunnen lokale, verkeers-gerelateerde maatregelen bijdragen aan verlagen van de stikstofdepositie in natuurgebieden?
- Welke bijdrage kunnen smart mobility maatregelen leveren aan de reductie van emissies en de verbetering van luchtkwaliteit?
- Innovaties m.b.t. modelleren en meten van luchtkwaliteit.

Circulariteit

Technologie voor duurzame voertuigen moet niet alleen in de gebruiksfase lage impacts hebben op energiegebruik, klimaat en milieu, maar moet ook in de productie- en afvalfase duurzaam zijn. Door de keuze van gebruikte materialen en het ontwerp van de producten moet de behoefte aan schaarse grondstoffen worden verminderd en moeten de inzetbaarheid van via recycling herwonnen grondstoffen en de herbruikbaarheid en recyclebaarheid van de materialen en producten worden vergroot. Voor die recycling moet inzamellogistiek worden opgezet en moeten faciliteiten worden ontwikkeld en opgeschaald om de reststromen grondstoffen terug te winnen. Omdat dit een extra dimensie is die moet worden meegenomen in de ontwikkeling en implementatie van alle innovaties, worden nadere innovatieopgaven en kennisvragen m.b.t. circulariteit nader toegelicht in paragraaf 4.3 van het hoofdstuk over "Bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie".

2.4 R&D faciliteiten voor duurzame mobiliteit en logistieke diensten

Om onderzoek en ontwikkeling op de in dit hoofdstuk genoemde innovaties en kennisvragen te ondersteunen, en om de effect van geïmplementeerde technologieën te kunnen monitoren, zijn de komende jaren investeringen nodig in:

- Faciliteiten voor ontwikkelen, testen en valideren van duurzame aandrijftechnologie voor o.a. wegvoertuigen, schepen en mobiele werktuigen:
 - testfaciliteiten voor geavanceerde verbrandingsmotoren op duurzame brandstoffen;
 - testfaciliteiten voor batterijen en brandstofcellen;
 - laboratoriumfaciliteiten voor tests op voertuigniveau;
 - mix van virtuele en fysieke testen (o.a. hardware-in-the-loop): naast labfaciliteiten ook simulatietools en digital twins;

- Pilot- en testfaciliteiten voor de productie van batterijen en batterij-modules:
 - pilotproductie:
 - van materialen / cellen en van modules;
 - testfaciliteiten;
 - recyclingfaciliteiten;
- Faciliteiten voor typekeuring en handhaving;
- Faciliteiten voor monitoren van real-world / praktijkemissies en energiegebruik van conventionele en duurzame voertuigen.

Deze faciliteiten zijn een belangrijke basis voor de ontwikkeling van een krachtig Nederlands innovatie-ecosysteem voor duurzame aandrijf- en voertuigtechnologieën.

3 Smart mobility en systeeminnovatie in mobiliteit en logistiek

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de voor de komende periode relevante innovatieopgaven en kennisvragen op het gebied van slimme mobiliteit en logistieke diensten, zowel op het gebied van digitalisering, connectiviteit en automatisering als op het gebied van nieuwe mobiliteitsconcepten en een doelmatiger inrichting van het mobiliteitssysteem en het logistieke systeem. De focus van Missie D+ ligt steeds op ontwikkelingen die kunnen bijdragen aan het halen van maatschappelijke doelen, zoals m.b.t. klimaat en milieu, gezondheid, verkeersveiligheid, bereikbaarheid en inclusiviteit.

Voor toepassings specifieke innovaties en generieke technologie / enablers worden de innovatieopgaven en kennisvragen opgesplitst naar technische, sociale en institutionele innovaties en voor de verschillende onderwerpen relevante bredere kennisvragen voor beleid en markt. Een aantal toepassingsoverstijgende innovatieopgaven en kennisvragen m.b.t. beleid voor slimme, efficiënte en veilige mobiliteit en logistiek worden in een aparte paragraaf behandeld. Deze toepassingsoverstijgende innovatieopgaven en kennisvragen hebben veelal een sterke relatie met de sectorbrede en sectoroverstijgende kennisvragen die behandeld worden in hoofdstuk 4.

Daarnaast is er aandacht voor de R&D-faciliteiten die nodig zijn als fundament voor het Nederlandse innovatie-ecosysteem voor slimme mobiliteit.

3.1 Slimme mobiliteit en logistiek - optimaliseren op maatschappelijke doelen

“Slim” in de context van slimme mobiliteit en logistiek is een begrip met meerdere dimensies, uiteenlopend van slimmer organiseren en verstandiger keuzes maken vanuit een systeem perspectief tot de inzet van slimme, digitale technologie. Ontwikkelingen m.b.t. slimme mobiliteit en logistiek kunnen dus betrekking hebben op één of meer van de volgende aspecten:

- “Verstandig” gedrag m.b.t. reizen, modaliteitskeuze, verkeersgedrag, routekeuze, etc.;
- Efficiëntere organisatie van mobiliteit en logistiek en efficiëntere inzet van modaliteiten en voertuigen (o.a. MaaS²³, SOL²⁴ en andere logistieke innovaties);
- Beschikbaarheid van nieuwe slimme vervoersconcepten, zoals stepjes, speed pedelecs, robo-taxi's, people movers, en drones;
- Digitalisering, platforms, verkeersmanagement en automatisering in personen- en goederenvervoer.

Een voorbeeld waar verschillende aspecten bij elkaar komen is dat smart technologie ingezet kan worden als enabler voor gedragsverandering, d.w.z. het faciliteren (creëren van handelingsperspectief) of ondersteunen van ander gedrag m.b.t. mobiliteit en reizen, modaliteitskeuze, rijstijl en verkeer. Innovaties op het gebied van slimme mobiliteit en logistiek kunnen worden ingezet om alternatief handelingsperspectief te creëren voor de respons van burgers en bedrijven op beleid, zoals rekeningrijden / vrachtwagenheffing, ZE-zones voor logistiek en personenvervoer, of het autoluw inrichten van wijken / steden (natuurlijk met toegankelijkheid voor noodzakelijk vervoer). In die zin kunnen slimme mobiliteit en logistiek dus ook bijdragen aan de inclusiviteit van de transitie naar een meer toekomstbestendig systeem voor personenmobiliteit en goederenvervoer.

De verantwoordelijkheid van Missie D+ in het bevorderen van de ontwikkeling en implementatie van innovaties betreft bovenal het optimaliseren van (de implementatie van) innovaties op hun bijdrage aan maatschappelijke doelen. Die doelen omvatten de verschillende dimensies van brede welvaart, waaronder klimaat, leefbaarheid, bereikbaarheid, efficiency, veiligheid, inclusiviteit en het tegengaan van ongewenste verdelingseffecten. Voor het bereiken van die doelen is technologie maar één van de mogelijke aangrijpingspunten. Daarnaast kan het ook nodig zijn om te sturen op o.a. volume, modaliteitskeuze, belading/bezetting, rijpatroon, routekeuze, bestemmingskeuze, etc.. Innovaties in mobiliteitssystemen, maar ook op het niveau van o.a. ruimtelijke ordening, infrastructuur, wonen en werken, zijn nodig om handelingsperspectief te creëren op deze

²³ Mobility-as-a-Service

²⁴ Self-Organizing-Logistics

aangrijpingspunten. Naast bevorderen van de ontwikkeling van dit soort innovaties, zijn ook validatie en opschaling voor Missie D+ belangrijke thema's.

Ook zonder missiegedreven innovatieprogramma vindt er een groot aantal ontwikkelingen plaats op het gebied van digitalisering, automatisering en platformdiensten. Die ontwikkelingen zijn vaak enerzijds wel gericht op het verbeteren van bijvoorbeeld verkeersveiligheid of bereikbaarheid, maar een belangrijke driver is toch vaak ook het verdienvermogen van de betrokken bestaande of nieuwe bedrijven. Zeker wanneer het potentieel disruptieve ontwikkelingen betreft, ligt er vanuit missiegedreven innovatiebeleid in ieder geval een opgave om effecten van deze ontwikkelingen in te schatten, waar mogelijk te beïnvloeden en bij toepassing in de praktijk te monitoren. Belangrijke aspecten daarbij zijn:

- Potentiële rebounds in relatie tot klimaat of andere maatschappelijke uitdagingen;
- (Her)verdeling van welvaart en welzijn tussen regio's en doelgroepen;
- Risico's mitigeren en voordelen maximaal benutten;
- Objectieve beoordeling van nieuwe concepten op vanuit maatschappelijk perspectief relevante aspecten / indicatoren / impacts:
 - O.a. MaaS, SOL²⁵, LEVs, automatische voertuigen, hyperloop, Advanced Air Mobility (drones, UAVs²⁶);
- (Afwegkader voor) beoordelen van effecten op verschillende dimensies van Brede Welvaart (zie ook hoofdstuk 4).

De potentiële positieve maar ook negatieve impacts van ontwikkelingen op slimme mobiliteit en logistiek maken dat het ook bij de taak van Missie D+ hoort om te reflecteren op de rol van de overheid in ontwikkeling en implementatie en te stimuleren dat er ook op dat gebied innovatie plaatsvindt. Belangrijke aspecten waar overheden een rol (kunnen) hebben zijn o.a. digitale veiligheid, standaarden, publieke (data-)infrastructuur en marktordening (en resulterende business modellen). Om in een adaptieve beleidscyclus effectief (bij) te kunnen sturen is monitoring nodig. In die context is ook ontwikkeling van transitie- en beleidsondersteunende kennis en instrumenten relevant. Eén van aspecten daarbij, zeker ook in de context van brede welvaart, is het ontwikkelen van toetsbare criteria om de kwaliteit van slimme mobiliteitssysteem SMART meetbaar maken.

3.1.1 Smart-4-Sustainable: dimensies

In het licht van de totale reductieopgave tot 2050 zijn de potentiële bijdragen van andere maatregelen dan duurzame aandrijving en energiedragers per stuk relatief beperkt. Maar nu met name het doelen voor 2030 zoveel scherper zijn geworden, wordt het belang van deze "kleine maatregelen" wel steeds groter. Er moeten heel veel maatregelen gestapeld worden om de doelen te halen. De meeste technische maatregelen worden via nieuwe voertuigen in de vloot geïntroduceerd en hebben daarmee een lange doorlooptijd. Aanvullende maatregelen moeten zich dus o.a. richten op reductie van de CO₂-emissies per kilometer van de bestaande vloot, een verschuiving naar duurzamere vervoerwijzen en beheersing van de groei / reductie van het aantal personen-, goederen- en /of voertuigkilometers. Op korte termijn zouden er ook aanvullende baten kunnen zijn in termen van een bijdrage aan verlaging van de stikstofdepositie in kwetsbare natuurgebieden.

Ontwikkelingen in het domein van slimme mobiliteit kunnen op deze manier bijdragen aan de versnelde reductie van CO₂-emissies. Met name ICT-technologie rond auto en infrastructuur, zoals adaptieve cruise control, slimme verkeerslichten en verkeersgeleiding via voertuigen die met de weg en met elkaar communiceren, en zelfrijdende voertuigen, kan zorgen voor minder energiegebruik per kilometer en minder voertuigkilometers en daarmee – bij voertuigen die nog fossiele brandstoffen gebruiken – tot reductie van de directe CO₂-emissies.

Nieuwe vervoersconcepten en mobiliteitsdiensten kunnen het autogebruik terugdringen en de overstap naar duurzame vervoerwijzen faciliteren. Een bijkomende voordeel van het bewustere reisgedrag, dat nodig is voor

²⁵ Self-Organising Logistics

²⁶ Unmanned Aerial Vehicle

het gebruik van bijv. deelmobiliteit en OV in plaats van de eigen auto, is dat het ook vaak leidt tot vermindering van de vervoersvraag.

Belangrijk is dan wel dat dit soort technologie en dit soort nieuwe diensten snel genoeg beschikbaar komen en op voldoende schaal kunnen worden toegepast en dat deze, naast doelen op het gebied van veiligheid en bereikbaarheid waarvoor ze primair ontwikkeld worden, ook gericht worden op duurzaamheid. Je kunt zelfs stellen dat er een window of opportunity is voor dit soort maatregelen. Ze hebben namelijk vooral effect zolang er nog veel voertuigen op fossiele brandstoffen rijden, varen en vliegen. Op lange termijn, wanneer vloten voor een steeds groter deel uit duurzaam aangedreven voertuigen bestaan, hebben dit soort maatregelen vooral impact op de vraag naar duurzame energie vanuit de transportsector.

Er is wel een gereede kans op rebounds, die door keuzes in het ontwerp en de implementatie van de systemen, en mogelijk door aanvullend beleid, vermeden dienen te worden. Bij het ontstaan van rebounds, alsmede bij het vinden van manieren om ze tegen te gaan, spelen technologische, maar vooral ook sociale en institutionele factoren een grote rol.

Belangrijke kennisvragen m.b.t. de inzet op "smart-4-sustainable" zijn:

- Wat is de impact die verschillende ontwikkelingen op het gebied van Smart Mobility en Smart Logistics (digitalisering, automatisering en nieuwe platformdiensten in mobiliteit en logistiek) kunnen hebben op de footprint / duurzaamheid van mobiliteit en logistiek en onder welke randvoorwaarden en/of sturing kunnen deze bijdragen aan verduurzaming?
 - Hoe groot is de potentiële bijdrage van verschillende ontwikkelingen in slimme mobiliteit en logistiek aan doelen m.b.t. CO₂ en luchtkwaliteit?
 - Hoe kunnen ontwikkelingen op het gebied van Smart Mobility worden geoptimaliseerd op de bijdrage aan CO₂-reductie?
 - Synergie vs. rebounds?
 - Welke sturing is er op deze ontwikkelingen mogelijk en nodig om ze maximaal te laten bijdragen aan maatschappelijke doelen?
 - Welke beleidssturing is nodig om te zorgen dat ontwikkelingen met als primair doel verkeerveiligheid en/of bereikbaarheid hand in hand gaan met de wens tot het optimaliseren van de impact op duurzaamheid?
 - Hoe kan sterker gestuurd worden op duurzaamheidsimpacts zonder ongewenste trade-offs op veiligheid en doorstroming / bereikbaarheid? En in geval van logistiek op de concurrentiepositie / het verdienvermogen van bedrijven en de sector als geheel en beschikbaarheid van diensten en goederen voor gebruikers?
 - Welke impact hebben ontwikkelingen als autonoom rijden en (e-)MaaS op bijv. de behoefte aan en benutting van laad- en tankinfrastructuur of op de aantrekkelijkheid / rentabiliteit van bestaande en nieuwe duurzame OV-concepten?
- Wat is rol van verschillende actoren in sturen van smart mobiliteit op duurzaamheid?
- Wat zijn consequenties van mobiliteitstransities op rol van actoren voor verduurzaming?
 - Moet beleid voor verduurzaming van voertuigen worden gericht op particuliere voertuigeigenaren of op mobiliteitsaanbieders?

Smart technologie kan ook nog op indirectere manieren bijdragen aan duurzaamheid:

- Door het bevorderen van een betere benutting van bestaande infrastructuur worden negatieve impacts van uitdijende infrastructuur op schaarse ruimte, leefbaarheid en natuur vermeden;
- M.n. digitalisering en connectiviteit van voertuigen en vloten kan ook worden ingezet om de uptake van duurzame technologie mogelijk maken of te vergroten / versnellen. Data over de ladingstoestand van EV-batterijen in de vloot, gecombineerd met informatie over de inzet van de voertuigen, maakt het bijvoorbeeld mogelijk om de vraag naar oplaadvermogen te voorspellen en zo de belasting van het elektriciteitsnetwerk en de benutting van opgewekte duurzame energie beter te beheersen. Smart technologie kan ook de flexibiliteit verhogen van de inzet van voertuigen in een vloot en zo de vloot en de daarmee geleverde mobiliteits- of logistieke dienst beter geschikt maken voor de inzet van elektrische voertuigen.

3.2 Verkeersmanagement, connectivity en automatisering

<p>technische innovatie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • technologieontwikkeling: <ul style="list-style-type: none"> ○ onderscheiden naar detectie, actuatie, decision making en optimalisatie ○ enablers: <ul style="list-style-type: none"> ▪ sensortechnologie ▪ communicatietechnologie ▪ slimme algoritmen: simulatiemethoden, artificial intelligence (AI), cybersecurity technologie, etc. <ul style="list-style-type: none"> ▪ incl. responsible / ethical / explainable AI ○ toepassingen van enabling technologie in o.a. CCAM²⁷, dataplatforms, etc. ○ digitale infrastructuur: sensoren, digitale kaarten, communicatie, lokalisatie (ground truth) ○ digital twinning technologie, slimme simulatiemethodologieën (voertuig, verkeer en stedelijk niveau) • validatie en verificatie: <ul style="list-style-type: none"> ○ kennis en (test-)faciliteiten, inclusief virtual testing (augmented reality, digital twinning, hardware-in-the-loop, scenario-based testing) en test- en experimenteromgeving in real-world settings ○ (multi-level) safety assessment, validatie en monitoring (in-service testing, monitoring deployment) • (Cooperative) Connected Automated Transport ((C)CAT) voor het zware wegverkeer: <ul style="list-style-type: none"> ○ yard automation: grote logistieke/ industriële hubs (haven, vliegveld, overslagterrein) ○ op de openbare weg: <ul style="list-style-type: none"> ▪ bijv. van terminal naar terminal of van hub naar hub • slimme infrastructuur (flexibeler inspelen op wisselende verkeerscapaciteit per modaliteit) • digitalisering en automatisering spoorgoederenvervoer en binnenvaart
<p>sociale innovatie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • stimuleren / faciliteren van gedragsverandering: <ul style="list-style-type: none"> ○ pre trip: keuze voor wel/niet reizen, stimuleren van optimale modaliteits-/voertuigkeuze (bijv. door AI algoritmes, door vergroten van aanbod en het stimuleren en belonen van duurzame alternatieven) ○ on-trip: stimuleren van veilig en efficiënt voertuiggedrag (bijv. door rijtaakondersteunende systemen of voertuigautomatisering) ○ pre- en on-trip: sturingsprincipes voor verkeersmanagement gericht op emissiereductie (i.p.v. verkeersdoorstroom), prevaleren van collectief belang (vloot) boven individueel belang ○ pre- en on-trip: inzet van serious gaming principes voor belonen opvolgedrag en begripsvergroting van individuele bestuurders van coöperatief rijden • delen van logistieke assets (voertuigen, terminals, opslaglocaties, etc.) voor optimalisatie over netwerken van partijen heen: <ul style="list-style-type: none"> ○ kan m.b.v. AI algoritmes en systemen voor datadelen (mede o.b.v. data sovereignty) ervoor gezorgd worden dat partijen er vertrouwen in hebben dat data veilig gedeeld kan worden en alleen onder hun voorwaarden? • behouden of bevorderen van inclusieve mobiliteit, ook bij toepassing van nieuwe technologieën
<p>institutionele innovatie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • standaarden voor connectiviteit / communicatie en automatisering (incl. cybersecurity) • toelating van smart systemen en geautomatiseerde voertuigen: <ul style="list-style-type: none"> ○ versnelling nodig omdat NL hierin achterloopt op andere landen ○ incl. cybersecurity en juridische aansprakelijkheid ○ systemen in samenhang beoordelen • publiek-private samenwerking / mobiliteits-ecosystemen:

²⁷ Cooperative, connected and automated mobility

	<ul style="list-style-type: none"> ○ samenwerkingsvormen ○ digitale infrastructuur / datadelen voor toekomstige mobiliteitssystemen en voor logistiek <ul style="list-style-type: none"> ▪ incl. cybersecurity ○ verbinding nationaal - Europees ● marktordering voor connected en autonoom rijden ● beleidsinstrumenten voor effectieve beïnvloeding van gedrag
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ● multi-level impact assessment <ul style="list-style-type: none"> ○ meten vs. simuleren ○ o.a. verbeteren van macroscopische simulatiemodellen, verder ontwikkelen van Large Scale Microsimulatie en de smart mobility monitor ● toekomstige infrastructuur en beheer <ul style="list-style-type: none"> ○ transitiepaden naar het verkeersmanagement van de toekomst ○ beslisinformatie en tools voor integrale afweging investeringen ○ onderzoek naar mogelijkheden voor dynamisch gebruik van (weg)infrastructuur, bijv. verschillende wegindelingen tijdens en buiten de spits en daaruit volgend dynamisch gebruik door verschillende groepen verkeersdeelnemers / gebruikers van de ruimte ● inzicht in de potentiële bijdrage van slimme technologie aan duurzaamheid en andere maatschappelijke doelen en de mogelijkheid om daar in te sturen / optimaliseren ● maatschappelijke meerwaarde / impacts van autonoom verkeer: <ul style="list-style-type: none"> ○ hoe kansen vergroten en bedreigingen voorkomen en/of mitigeren, bijv. middels proactief beleid? ○ impact op economie en maatschappelijke aspecten als 'mobiliteitsarmoede' en inrichting van de stad van de toekomst? ● aansluiting op (ontwikkelingen in) andere Europese landen

3.3 Slimme personenmobiliteit: ketenreizen en deelmobiliteit

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● technologie / digitale infrastructuur ter ondersteuning van Mobility-as-a-Service voor stedelijke mobiliteit en ketenreizen <ul style="list-style-type: none"> ○ ook internationale ketenreizen ● integratie van nieuwe voertuigconcepten, differentiatie in aanbod gekoppeld aan behoefte ● cybersecurity, data-deeltechnologie, platformen (Gaia X, federated, e.d.) ● innovatieve (fiets)parkeervoorzieningen i.r.t. een betere overgang tussen individueel vervoer en OV (o.a. hubs) ● slimme betaalsystemen
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● verbeteren van de samenwerking tussen aanbieders van mobiliteitsdiensten voor het mogelijk maken van ketenreizen en naadloos voor- en natransport <ul style="list-style-type: none"> ○ ook internationale ketenreizen ● verhogen van de bezettingsgraad ● stimuleren van ander vervoerskeuzegedrag (voorlichting, AI, serious gaming) ● vooraf reserveren van parkeerplaatsen ● auto als postbus voor afleveren van pakketten <ul style="list-style-type: none"> ○ vereist ook technische aanpassingen ● behouden of bevorderen van inclusieve mobiliteit, ook bij toepassing van nieuwe technologieën en concepten voor dienstverlening
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● optimaliseren van het mobiliteitsaanbod met innovatieve mobiliteitsdiensten en nieuwe voertuigconcepten, juist ook op knooppunten waar emissies groot zijn, bijv.: <ul style="list-style-type: none"> ○ collectief vervoer i.p.v. individueel vervoer in ZE zones met elektrische people movers als aanbod ○ MaaS-concepten waarbij gebruik van duurzame voertuigen beloond wordt ● digitaal stelsel mobiliteitsdata: <ul style="list-style-type: none"> ○ privacy, proportionaliteit, juridische kaders

	<ul style="list-style-type: none"> ○ rol overheid ● MaaS: <ul style="list-style-type: none"> ○ marktordening, standaarden ○ kansrijke business modellen (privaat en publiek) ○ verbreding opgave naar internationaal (International Mobility as a Service: IMaaS) ● publiek-private samenwerking / mobiliteits-ecosystemen: <ul style="list-style-type: none"> ○ samenwerkingsvormen <ul style="list-style-type: none"> ▪ incl. trans sectorale oplossingen m.b.t. het verbinden van wonen-werken-mobiliteit of het combineren van personen- en goederenvervoer ○ rol van werkgevers, onderwijs, etc. ○ digitale infrastructuur voor toekomstige mobiliteitssystemen ○ andere inzet van overheidsmiddelen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ bijv. Infracfonds mogen inzetten voor treinstellen ○ verbinding nationaal - Europees ● hubs integreren in de ruimtelijke ordening / infrastructuur ● flankerend beleid om uptake van nieuwe mobiliteitsconcepten te faciliteren / stimuleren: <ul style="list-style-type: none"> ○ o.a. parkeerbeleid ● verbinding met ruimtelijke planning (bijv. 15 minuten stad): wonen, werken, voorzieningen in samenhang plannen om behoefte aan (auto)mobiliteit te verkleinen
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ● inzicht in de potentiële bijdrage van slimme mobiliteit aan duurzaamheid en andere maatschappelijke doelen en de mogelijkheid om daar in te sturen / optimaliseren: <ul style="list-style-type: none"> ○ via beleid ○ via monitoring en/of simulatie en aanpassing van optimalisatie-algoritmen ● rol van nieuwe mobiliteitsconcepten i.r.t. bestaand OV: aanvulling of concurrentie? ● inzicht in de invloed van nieuwe mobiliteitsconcepten op de inzet- en laadprofielen van elektrische voertuigen in ruimte en tijd ● onderzoek naar de rol van parkeerbeleid en ander verkeers- of ruimtelijk beleid i.r.t. versnellen van de opschaling van EVs, MaaS, e.d. ● onderzoek naar het effect van meer en flexibel OV-aanbod waar OV nu nog geen alternatief is ● onderzoek naar blijvende gedragsverandering a.g.v. de Corona-pandemie ● rekentools / modelconcepten voor ketenreizen en deelmobiliteit, o.a. voor toepassing in strategische mobiliteitsmodellen ● privacy-aspecten van digitalisering voor slimme personenmobiliteit ● inclusiviteit: hoe zorgen voor toegankelijkheid en betaalbaarheid van mobiliteit voor iedereen en op elk moment dat mobiliteit nodig is? ● relocatie-effecten: wat betekent nieuw mobiliteitsaanbod voor locatiekeuze van burgers en bedrijven? ● aansluiting op (ontwikkelingen in) andere Europese landen

3.4 Slimme logistiek

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● technologie voor Connected Automated Transport en inpassing in de logistieke keten ● algoritmes voor autonomous data driven decision making ● technologie / digitale infrastructuur ter ondersteuning van Connected Automated Transport en Transport as a Service/zelforganiserende logistiek: <ul style="list-style-type: none"> ○ digitale platformen, datadeeltechnologie (Gaia X, etc.) ○ Internet-of-Things (IoT) ○ AI om grote hoeveelheden data te verwerken en te sturen op efficiënt en duurzaam rijden ● data-uitwisseling en autorisatie (BDI en DIL) ● gebruik van IoT toepassingen om: <ul style="list-style-type: none"> ○ bijvoorbeeld bederfelijke waar beter te monitoren en eventueel anders te routeren om derving te voorkomen
----------------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> ○ betere beslissingen te kunnen nemen omtrent het gebruik en de retourlogistiek van logistieke assets, zoals containers of RTIs²⁸ ● duurzame logistieke hubs: <ul style="list-style-type: none"> ○ verbinden van logistieke hubs met energy hubs ● kleinere containerconcepten voor bijv. de last mile ZE logistiek in stedelijke gebieden of goederen-/bagagevervoer op en naar/van luchthavens
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● verhogen van de beladingsgraad: <ul style="list-style-type: none"> ○ hoe de bereidheid tot samenwerken / datadelen tussen bedrijven verhogen? ● combineren van duurzame aandrijvingen met schaalbare concepten in logistieke operatie: <ul style="list-style-type: none"> ○ o.a. hubs voor stadslogistiek en bouwlogistiek ○ Connected Automated Transport op yards en corridors ○ faciliteren modal shift ○ ketensamenwerking ● methoden voor bevorderen van de verduurzaming van logistiek: <ul style="list-style-type: none"> ○ o.a. carbon footprinting / monitoring ● financierbaarheid van nieuwe oplossingen voor m.n. MKB ● verhogen digital readiness van MKB ● gedragsverandering m.b.t. snelle levering van (e-commerce) bestellingen ● status van het beroep chauffeur
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> ● Smart Access Policies: voertuigen van verschillende (modulaire) trailer eenheden (evt. met automatisch rijden functies) met belading en lengte wel/niet toestaan op bepaalde plaatsen/tijden ● publiek-private samenwerking / mobiliteits-ecosystemen: <ul style="list-style-type: none"> ○ samenwerkingsvormen ○ afstemming/kennisdeling van verschillende initiatieven ○ ontwikkeling van innovaties in meerdere leercycli met toenemende complexiteit ○ digitale infrastructuur voor slimme logistiek (DIL) ○ verbinding regionaal - nationaal - Europees ● trans-sectorale samenwerking <ul style="list-style-type: none"> ○ combinaties tussen verschillende bedrijfstakken ○ evt. beperkte mogelijkheden voor combineren van personen- en goederenvervoer ● de vrachtwagenheffing sturen op tijdstip en beladingsgraad ● milieu-effecten doorbelasten in de prijs van logistiek ● normering van goederen vervoer sturen via de wet milieubeheer/omgevingswet ● implementatie van CO₂ footprinting and accounting
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> ● beter identificeren en kwantificeren van kansrijke maatregelen voor duurzame logistiek: <ul style="list-style-type: none"> ○ in diverse deelsectoren (stadslogistiek, bouwlogistiek, pakketbezorging, etc.) ○ incl. indirecte effecten / rebounds van efficiëntere logistiek ● inzicht in de potentiële bijdrage van slimme logistiek aan duurzaamheid en andere maatschappelijke doelen en de mogelijkheid om daar in te sturen / optimaliseren <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. afwegingskader ● inzicht in de invloed van nieuwe logistieke concepten op de inzet- en laadprofielen van elektrische voertuigen in ruimte en tijd ● carbon footprinting van logistieke diensten en systemen (incl. op- en overslag e.d.) <ul style="list-style-type: none"> ○ incl. meer inzicht in de milieu-impact en kosten voor thuisbezorgen / e-commerce in vergelijking met alternatieven ● oplossingen voor corridors

²⁸ Returnable Transport Items: herbruikbare emmers, trolleys, kratten e.d. om goederen te vervoeren en beschermen

3.5 Nieuwe voertuig- en vervoersconcepten

Publieke investeringen in ontwikkeling van (technologie voor) nieuwe voertuig- en vervoersconcepten moeten afhankelijk zijn van de uitkomsten van verkenningen naar de mate waarin deze concepten kunnen bijdragen aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen. Kennis van de state-of-the-art van deze technologieën is nodig om ontwikkelingen goed te kunnen duiden.

technische innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • ontwikkeling innovatieve nieuwe wegvoertuigconcepten: <ul style="list-style-type: none"> ○ micromodaliteiten als alternatief voor auto's ○ kleine, zuinige voertuigen voor individueel vervoer ○ people mover achtige concepten (weten van personenvoertuigen in steden) • nieuwe concepten voor vervoer door de lucht (drones, advanced air mobility, e.d.) • verdere ontwikkeling van bestaande infrastructuur ondergronds: buisleidingen • nieuwe concepten: o.a. hyperloop
sociale innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • gewenste plaats van nieuwe concepten in het vervoersysteem bepalen
institutionele innovatie	<ul style="list-style-type: none"> • anticiperen op nieuwe concepten en alvast nadenken over benodigde regelgeving, o.a. m.b.t. veiligheid en ruimtelijke / verkeerskundige inpassing
kennisvragen voor beleid en markt	<ul style="list-style-type: none"> • assessment van nieuwe technologieën en vervoersconcepten (bijv. hyperloop) op aspecten als toepassingspotentieel, functie in het mobiliteitssysteem, duurzaamheid en milieu-impacts, veiligheid, ruimtelijke inpasbaarheid, etc. • welke concepten zouden potentieel disruptief kunnen zijn, wanneer is beleid nodig?

3.6 Generieke sleuteltechnologieën

Ontwikkelingen op het gebied van smart mobility worden in sterke mate gedreven door innovaties in ICT. Digitalisering van mobiliteit en logistiek wordt mogelijk gemaakt door een aantal key enabling technologies, zoals sensortechnologie, toenemende rekenkracht van on-board elektronica, communicatietechnologie (zoals 5G) en kunstmatige intelligentie (AI). De ontwikkeling van deze technologieën valt formeel buiten de scope van Missie D+. Maar goed zicht houden op die ontwikkelingen, en wat ze in de toekomst voor slimme mobiliteit en logistiek kunnen betekenen, is wel belangrijk. Ook kan er vanuit de toepassingsgebieden, zoals vergroten van verkeersveiligheid of het efficiënter vervoeren van goederenstromen, specifieke vraagsturing plaatsvinden voor de verdere ontwikkeling van verschillende sleuteltechnologieën om te zorgen dat technologie wordt ontwikkeld die optimaal kan worden ingezet voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

3.7 Kennisvragen m.b.t. (overig) beleid voor slimme, efficiënte en veilige mobiliteit en logistiek

In aanvulling op de in bovenstaande paragrafen genoemde specifieke kennisvragen voor beleid en markt is er voor de ontwikkeling van beleid voor slimme, efficiënte en veilige mobiliteit en logistiek aanvullende kennisontwikkeling nodig op o.a. de volgende onderwerpen:

- Wat betekent het als we beleid minder gericht maken op het wegnemen van hindernissen en verminderen van "voertuigverliesuren" bij wegvervoer en meer op de kwaliteit van het mobiliteitssysteem als geheel en de kwaliteit van de leefomgeving?
 - Zie ook de paragraaf 4.2 m.b.t. "Nieuwe tools en afwegingskaders";
- Wat zijn de mogelijkheden om de modaliteiten en logistieke ketens beter op elkaar aan te sluiten, waarbij gebruik gemaakt wordt van het bestaande mobiliteitsnetwerk in tegenstelling tot het aanleggen van nieuwe infrastructuur?
- Welke modaliteitsvormen bieden kansen voor de toekomst? Bijvoorbeeld buisleidingen voor schone energiedragers.
- Inzicht in sturingsmogelijkheden en afwegingskaders vanuit duurzaamheidsperspectief i.r.t. veiligheid en doorstroming middels verkeersmanagement en mobiliteitsmanagement;
- Methodieken voor gedragsbeïnvloeding;

- Vereist meer kennis van gedrag i.r.t. mobiliteit in algemene zin en allereerst specifiek van de huidige motivaties van mensen om bepaalde vervoerwijzen te gebruiken, of van barrières om deze te gebruiken;
- Opties voor effectieve beprijzing:
 - O.a. milieueffecten in prijs zichtbaar maken;
- Beslisisinformatie t.a.v. complexe vervangingsvraagstukken (incl. renovatie): verstandig afbouwen oude systemen resp. opbouwen nieuwe systemen;
 - Life cycle aspect: Fysieke infra gaat 30 jaar mee, slimme alternatieven bieden voordelen maar zijn pas over 5-10 jaar beschikbaar. Hoe daar mee omgaan? Digitale softwarematig opgebouwde oplossingen zijn sneller en remote aan te passen dan fysieke oplossingen;
 - Overgangsverschijnselen in transitie van oude naar nieuwe systemen:
 - Consequenties van 'mixed traffic': oude en nieuwe voertuigen met verschillende gradaties van connectiviteit en automatisering, bemande en onbemande voertuigen, etc.;
 - Impact van deelmobiliteit op de openbare ruimte?
 - Software-gedreven oplossingen moeten wel toekomstbestendig zijn (en niet elke 3 jaar vervangen moeten worden);
- Responsible / ethical Artificial Intelligence;
- Implicaties van het verzenden, verwerken en opslaan van grote toenemende hoeveelheden data op de daarvoor benodigde fysieke infrastructuur en op duurzaamheid (via o.a. energiegebruik en materialen);
 - Ontwikkeling van oplossingen om duurzaamheidsimpacts van datagebruik te verminderen.

3.8 R&D faciliteiten voor slimme en veilige mobiliteit en logistiek

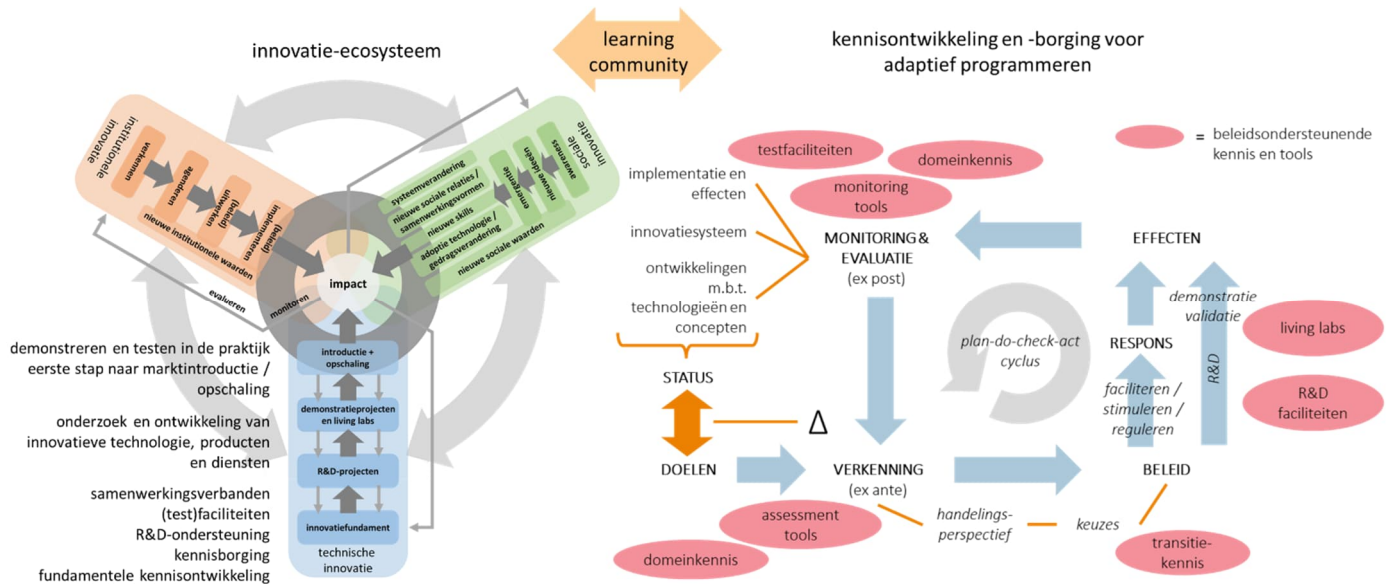
Om onderzoek en ontwikkeling op de in dit hoofdstuk genoemde innovaties en kennisvragen te ondersteunen, en om de effecten van geïmplementeerde technologieën en concepten te kunnen monitoren, zijn de komende jaren investeringen nodig in:

- Laboratoriumfaciliteiten:
 - Incl. simulatoren;
- Real-world testomgevingen / living labs:
 - Incl. digitale infrastructuur voor het verzamelen van data en de aansturing experimenten;
- Verbinden van micro- en macro-simulaties om inzicht te krijgen in de effecten op beide niveaus (voertuig, voertuig-wegkant, digitale infra, steden, hubs, yards, ketens en corridors):
 - Digital twinning technologie, slimme simulatiemethodologieën (voertuig, verkeer en stedelijk niveau);
 - Kennis en (test-)faciliteiten, inclusief virtual testing (augmented reality, digital twinning, hardware-in-the-loop, scenario-based testing);
 - (multi-level) safety assessment, validatie en monitoring (in service testing, monitoring deployment);
 - Inpassing in logistieke keten en business case van bedrijven, impact op de benutting van infrastructuur, veiligheid en duurzaamheid en de rol van de wegbeheerder gegeven gewenste (bij)sturing;
- Monitoring, kennisborging en disseminatie:
 - Data-acquisitie van real-live tests voor inzicht in de effecten van bijv. optimalisatie op duurzaamheidscriteria, balanceren tussen societal impacts (safety / emissies / doorstroom) en evt. rebound effecten;
 - Vasthouden / borging en kwantificeren van geleerde lessen;
 - Effectieve data pipelines (combineren van data uit verschillende projecten);
 - Extrapoleren: effectieve oplossingen toepassen in andere regio's;
 - Voorspellen: met simulatieomgevingen gebaseerd op real-live data opschalingseffecten voorspellen.

Deze faciliteiten zijn een belangrijke basis voor de ontwikkeling van een krachtig Nederlands innovatie-ecosysteem voor slimme mobiliteit en logistiek. Daarmee zijn ze, net als slimme mobiliteit en logistiek zelf, een middel en geen doel.

4 Breder kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie

Veel van de in de voorgaande twee hoofdstukken voor specifieke toepassingen of technologieën geformuleerde opgaven m.b.t. sociale en institutionele innovatie en de kennisvragen voor beleid en markt bevatten reeds elementen die duiden op de behoefte aan een bredere (innovatie-)systeembenadering voor effectieve introductie van de duurzame en andere innovaties en het effectief managen van de transitie op het gebied van o.a. energie en mobiliteitssystemen in de mobiliteitssector en de logistiek. Voor de verdere stappen in de transitie zijn dit soort systeemvragen van toenemend belang. Dit hoofdstuk gaat dieper in op generieke systeemvraagstukken en vertaalt deze naar de benodigde kennisontwikkeling en innovaties in methodieken en tools die nodig zijn om deze vragen te beantwoorden.



Het is belangrijk dat Missie D+ kennisontwikkeling op deze systeemvraagstukken bevordert. Een kenmerk van dit soort vraagstukken is dat ze “van iedereen zijn, en daarom van niemand”. Antwoorden op systeemvraagstukken dienen het algemeen nut en kunnen of mogen dus niet door partijen gemonopoliseerd worden, bijv. voor verbetering van de eigen concurrentiepositie. Ze worden daarom niet vanzelf door de markt opgepakt. En ook wanneer gedeeltelijke onderzoeksfinanciering beschikbaar is, blijkt er vaak beperkte bereidheid vanuit marktpartijen om zelf mee te investeren.

Het belang van investeren in systeemvraagstukken en bredere kennisvragen m.b.t. sturing van de transitie neemt echter toe. Eerste stappen in de introductie en opschaling van alternatieve technologieën en concepten kunnen vaak wel zonder breder systeem perspectief worden gezet, maar bij verdere opschaling komen complexe systeemvraagstukken vanzelf naar voren. Daarnaast geldt dat we nu bezig zijn om de eerste, relatief makkelijke stappen te zetten naar verduurzaming. De volgende stappen zijn complexer, ingrijpender en dus meer risicovol, en die moeten dus goed onderbouwd zijn.

Het beantwoorden van systeemvraagstukken vraagt onder meer om het ontwikkelen van nieuwe denk- en afwegingskaders, het combineren van β - en γ -domeinkennis en methoden in multi- en transdisciplinaire samenwerking, de ontwikkeling van innovatieve modellen, ontwerpmethodieken, methodieken voor validatie en valorisatie en innovatieve manieren van omgaan met bestaande en nieuwe data. Deze methoden kunnen worden gezien als key enabling methodologies (KEMs), die voor m.n. de sociale en institutionele kant van de transitie naar een toekomstbestendige mobiliteitssysteem even belangrijk zijn als de in de eerdere hoofdstukken geïdentificeerde key enabling technologies (KETs) zijn voor de technologische innovaties m.b.t. duurzame voertuigen, transportsystemen en mobiliteitsdiensten.

Methodieken voor het ontwikkelen van systeemoplossingen voor systeemvraagstukken omvatten zowel werkvormen en methoden voor de kwalitatieve, conceptuele ontwikkeling van oplossingsrichtingen en

toekomstbeelden (bijv. "ontwerpend onderzoeken") als innovatieve kwantitatieve tools om die oplossingsrichtingen en toekomstbeelden door te rekenen en verder uit te werken en te optimaliseren op de mate waarin ze voorzien in de (essentiële) behoeften van burgers, bedrijven en andere stakeholders in stedelijke en rurale gebieden en waarin de gestelde doelen er ook daadwerkelijk mee worden bereikt. De ontwikkeling van dergelijke methoden en tools is nodig om de gewenste paradigmaverandering van "predict & provide" naar "decide & provide" (of beter nog: "design, decide and provide") handen en voeten te geven.

Individuele projecten of studies zullen nooit het laatste, finale antwoord geven op complexe systeem- en transitievraagstukken. Ze zetten stappen in het vergroten van kennis en inzicht. Op basis van opeenvolgende studies, pilots en praktijkproeven en ervaring met eerste echte toepassingen kunnen alle stakeholders ieder voor zich en samen leren. Om effectiever samen te leren en te innoveren is het belangrijk om rond die systeem- en transitievraagstukken "learning communities" te organiseren waarin de ontwikkelde inzichten en kennis geborgd worden en toepasbaar gemaakt voor adaptieve beleidsprogrammering door overheden en andere stakeholders.

4.1 Systeemvraagstukken

Hieronder wordt aan de hand van een aantal thema's een niet-uitputtend overzicht gegeven van systeem- en transitievraagstukken, en onderwerpen daarbinnen, die relevant zijn voor de succesvolle ontwikkeling van een toekomstbestendig mobiliteits- en logistiek systeem.

Kennis en kunde voor grip / regie op sectorale en sector-overstijgende systeemveranderingen

- Transitiekunde en innovatie-systeemanalyse verder operationaliseren voor toepassing binnen het mobiliteitsdomein en op cross-sectorale systeemveranderingen;
- Ontwikkelde methoden per sector of marktsegment toepasbaar maken om tot bruikbare inzichten te komen omtrent de status van het innovatie-ecosysteem en de maatregelen die nodig zijn om de transitie te versnellen;
 - Met, zeker voor logistiek, ook bijzondere aandacht voor het motiveren van het MKB.

Sociale innovatie en systeeminnovaties

Het belang van sociale innovatie om te komen tot structurele duurzame gedragsverandering en een duurzamere inrichting van de leefomgeving en economie wordt algemeen onderkend. Maar operationalisering hiervan voor concreet beleid is lastig en behoeft verder onderzoek. Belangrijke thema's daarbij zijn:

- Niet alleen nieuwe oplossingen ontwikkelen maar nadrukkelijk ook identificeren en samen besluiten welke praktijken, gebruiken en gedragingen in de huidige systemen voor mobiliteit en logistiek niet volhoudbaar zijn en waar dus afscheid van genomen moet worden;
- Betrekken van burgers bij innovaties en beleidsontwikkeling, bijv. met instrumenten als Participatieve Waarde Evaluatie;
 - Inzet van "quintuple helix"²⁹
- Gedrag / sociale innovatie:
 - Gedragsverandering voor adoptie van oplossingen voor bereiken maatschappelijke doelen;
 - Gedragsverandering als maatregel / oplossing voor het bereiken van maatschappelijke doelen;
 - Differentiatie naar doelgroepen;
- Societal Readiness Level / Societal Embeddedness Level van innovaties en methoden om dit vast te stellen en te beïnvloeden;
- Wat is er nodig om gedragsveranderingen te faciliteren die leiden tot minder mobiliteit, modal shift of minder voertuigkilometers?
 - Alternatief handelingsperspectief ontwikkelen en aanbieden om menselijke behoeften te blijven bedienen / ontplooiing mogelijk te blijven maken, zoals:

²⁹ Zie Missie D+: *Programma voor de periode 2023 – 2026*

- Alternatieve vervoerwijzen;
- Vergroten "mobiliteit" op de woning- en arbeidsmarkt;
- Bestemmingen dichterbij brengen;
- Telewerken, teleleren, etc.;
- Acceptatie van "dat niet meer alles kan";
- Hoe rebounds voorkomen?
- Impacts van de mobiliteitstransitie op de energietransitie in mobiliteit:
 - De transitie van bezit naar gebruik leidt bijv. tot verandering van inzet- en laadprofielen van voertuigen in ruimte en tijd en tot andere actoren die beslissen over de adoptie van duurzame voertuigen en energiedragers.

Sector-overstijgende systeembenadering operationaliseren op verschillende vraagstukken

- De energietransitie voor transport in samenhang met de totale energietransitie beschouwen:
 - Bijdrage van mobiliteit aan de energietransitie in andere sectoren?
 - Impact van elektrisch rijden op het elektriciteitsnet: vermogensvraag en netstabiliteit:
 - Meekoppelkansen of concurrentie met elektrificatie van de gebouwde omgeving?
 - Impact van elektrisch rijden op de behoefte aan duurzaam opgewekte elektriciteit;
 - Interactie tussen de mobiliteitssector, energiesector / brandstofproductie en de sector chemie:
 - O.a. impacts op / rol in de transitie van de petrochemische industrie en NL mainports;
 - Interactie van e-fuels / biobrandstoffen met verduurzaming in de chemische industrie;
 - Import vs. eigen productie voor H₂ en e-fuels;
 - Op nationaal niveau kennis en modellen ontwikkelen om de verduurzaming van alle energie producerende en verbruikende sectoren goed op elkaar af te stemmen en de behoeften aan energie-infrastructuur goed in te schatten;
 - Incl. ruimtegebruik van infrastructuur;
- Welke impact heeft een duurzame, circulaire en digitale economie op de vervoersstromen op mondiaal, regionaal en lokaal niveau? En wat betekent dat voor de opgave om deze vervoersstromen te verduurzamen?
- Hoe synergie creëren tussen de energietransitie en de transitie naar een circulaire economie?
- Fysieke en digitale infrastructuren.

Mobiliteit in ruimtelijke context

- Visie op / concepten voor bereikbare en leefbare stedelijke en landelijke gebieden:
 - Hoe kan het mobiliteitssysteem meer toekomstbestendig worden verbonden met de leefomgeving, zowel in de stad als in rurale gebieden?
 - Ontwikkeling en evaluatie van concepten voor sociale en technologische innovaties voor klimaatneutrale steden;
 - Hoe kan er door reductie van de impact van verkeer meer ruimte worden gemaakt voor binnenstedelijk bouwen?
 - Wat is de impact van slimme mobiliteitsontwikkelingen en slimme logistiek op verkeersstromen in de stad?
 - Hoe ziet een structureel duurzaam verkeerssysteem in een structureel duurzame stad er uit?
 - Kunnen we met een andere ruimtelijke inrichting mobiliteit reduceren en verduurzamen?
 - Kunnen innovaties in het mobiliteitssysteem bijdragen aan een structureel duurzamere en leefbare inrichting van de stad, o.a. in relatie tot stedelijke verdichting?
 - Concepten als de "15-minutenstad" verder uitwerken en operationaliseren;
- Uitdenken van nieuwe "ontwerpprincipes" voor beleid;
- Nieuwe paradigma's:
 - Ontwerpend onderzoeken / ontwerpende benadering;
 - (Auto-)mobiliteit aanpassen aan de stad in plaats van andersom;
 - Van modaliteit naar mobiliteit, van mobiliteit naar bereikbaarheid;
 - Transit-oriented development;

- Concepten en denkkaders actionable en accountable maken;
- “Op de weg / in de stad komt alles samen”;
 - Effecten van verschillende ingrepen tegelijkertijd op verschillende aspecten;
 - Interacties tussen maatregelen;
 - Kwalitatieve concepten doorrekenbaar maken;
- Hoe kun je sturen met ruimtelijke ordening?
 - Via ruimtelijke ordening de behoefte aan mobiliteit en de modaliteitskeuze beïnvloeden;
- Hoe optimaliseren we de ruimtelijke inrichting op verschillende schaalniveaus (straat / buurt / wijk / district / stad / regio / provincie / land), rekening houdend met verschillende functies (wonen, werken, recreëren, produceren, etc.) vanuit het oogpunt van brede welvaart / verduurzaming?
- Integratie van duurzame logistiek in de stedelijke omgeving, incl. logistieke hubs en HD laadinfrastructuur;
- Ontwerp en impact van multimodale mobiliteitshubs (ook ter ondersteuning van MaaS-concepten);
- Welke organisatie, skills en samenwerking zijn nodig om de complexiteit van opgaven en transities in steden en regio's het hoofd te bieden?

Toekomstbestendige mobiliteit en logistiek in de context van bredere economische ontwikkelingen

De relatie tussen de transitie naar toekomstbestendige mobiliteit en logistiek en bredere economische ontwikkelingen kent meerdere dimensies, waarop al onderzoek plaatsvindt maar ook nieuwe onderzoeksvragen gedefinieerd kunnen worden:

- Economische voorwaarden voor realisatie van de transitie, waaronder:
 - Beschikbaarheid van voldoende kapitaal voor investeringen in de productie en toepassing van nieuwe aandrijftechnologieën, transportsystemen, infrastructuur en mobiliteitsdiensten;
 - Beschikbaarheid van voldoende geschoolde arbeid, m.n. voor de aanleg van nieuwe infrastructuur, en concurrentie om deze arbeid met andere transities;
- Innovatie m.b.t. duurzame en toekomstbestendige mobiliteit en logistiek als bron van toekomstbestendige werkgelegenheid;
- Mobiliteitsinnovaties als oplossing voor economische knelpunten, zoals het chauffeurstekort in logistiek;
- Gevolgen van ontwikkelingen in andere delen van de economie voor de behoefte aan vervoer van personen en goederen en de voor verschillende doelen meest geschikte vervoerwijzen;
- Effecten van potentiële veranderingen in het dominante economische model op mobiliteit en logistiek en de bijdrage van gedragsverandering binnen mobiliteit en logistiek aan die economische paradigmaveranderingen, zoals:
 - De transities naar een klimaatneutrale energievoorziening en circulair gebruik van grondstoffen;
 - Verminderen van globalisering door reshoring / het verkorten van supply chains;
 - Verschuiving van de huidige focus op economische groei in termen van BBP naar creatie van welzijn en bredere welvaart;
 - Trends m.b.t. consuminderen;
 - Mogelijke degrowth als streven of als gevolg van veranderingen in het economische systeem.

4.2 Nieuwe tools en afwegingskaders

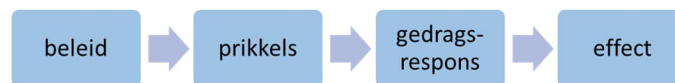
Nadenken over nieuwe manieren van het organiseren van mobiliteit en logistiek, of van het inrichten van de stad, gebeurt in eerste instantie kwalitatief. Maar als die nieuwe manieren van organiseren en inrichten bedoeld zijn om maatschappelijke problemen op te lossen, dan moeten ze “onder de streep” wel optellen tot het gewenste effect. Dat betekent dat er kwalitatief of kwantitatief beoordeelbare KPIs moeten zijn voor de mate waarin maatschappelijke problemen worden opgelost en de mate waarin het nieuwe systeem de gewenste kwaliteiten heeft. En er moet zicht zijn op eventuele ongewenste neveneffecten en hoe die gemitigeerd kunnen worden. Dat vereist op zijn minst nieuwe afwegingskaders om verschillende aspecten en impacts tegen elkaar af te kunnen wegen. En daar waar dat kan, moeten die afwegingen zoveel mogelijk kwantitatief onderbouwd worden. Dat vereist ontwikkeling van nieuwe meet- en rekenmethoden en van tools waarin die methoden praktisch toepasbaar worden gemaakt.

Toekomstprognoses en planmethodieken

- Beter inzicht in trends in verplaatsings-/reisgedrag als input voor toekomstverkenningen en ontwerp van toekomstige mobiliteitssystemen;
 - Emergente trends / trendbreuken beter in beeld brengen met bestaande en nieuwe databronnen;
 - Anticiperen op veranderingen aan de hand van ontwikkelingen binnen en buiten de transportsector;
 - Bronnen van onzekerheid m.b.t. toekomstverwachtingen identificeren en onzekerheden meenemen in toekomstverwachtingen;
- Verbeteren van kwantitatieve methoden en tools om de adoptie van nieuwe technologie, vervoerwijzen en mobiliteits- en logistieke diensten in te schatten:
 - Innovatieve modellen voor voorspelling van voertuigkeuze, modaliteitskeuze en mobiliteitsgedrag;
- Verbeteren van methodieken voor het ontwikkelen van bandbreedtes / verschillende scenario's m.b.t. de vraag naar mobiliteit en andere voor prognoses relevante parameters.

Kennis en tools voor inschatten van effecten van (beleids-)maatregelen

- Kennis en tools voor optimalisatie op van mobiliteits-, logistieke en verkeerssystemen op duurzaam, efficiënt en veilig;
- Large Scale Micro Simulation (LSMS) om milieu- en andere impacts van o.a. verkeersmanagement in te schatten;
- Er is in algemene zin behoefte aan uitbreiding van de kennis en verbetering van tools om de gedragsrespons op, en de daaruit volgende impacts van beleidsinterventies in te schatten;

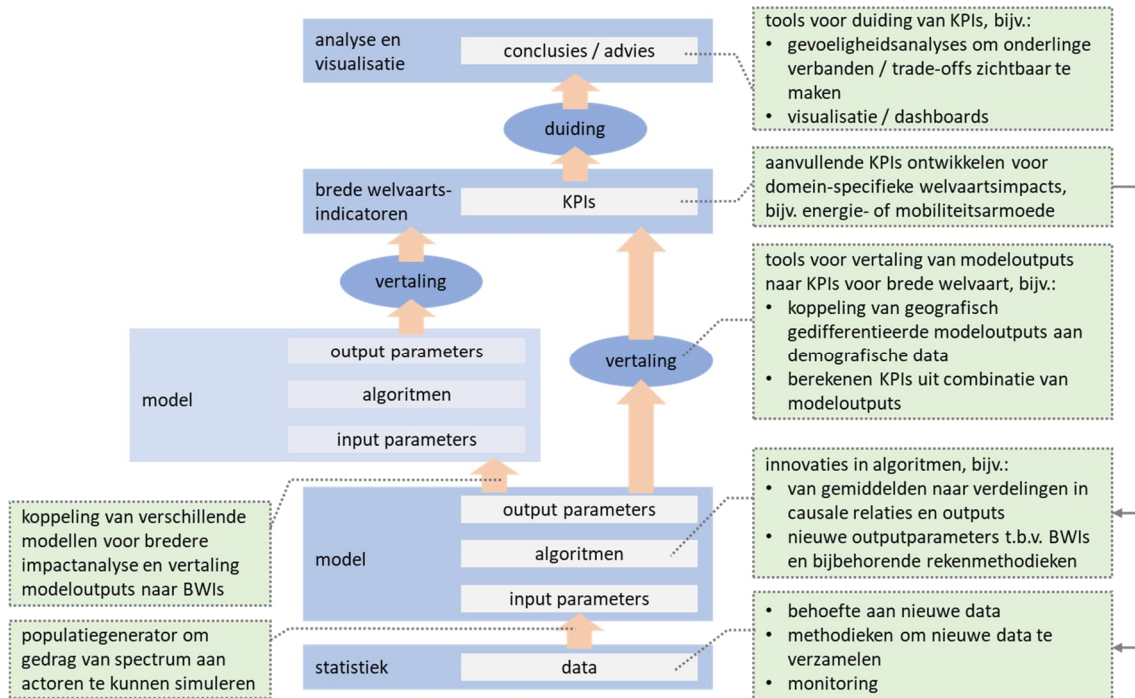


- Modelleren, monitoren en optimaliseren;
 - Digital twins voor modelleren, optimaliseren en real-time sturen / regelen;
 - Belangrijk om de mogelijkheden voor en effecten van ruimtelijke, verkeers- en andere ingrepen in de gebouwde / stedelijke omgeving te berekenen en visualiseren;
 - Data m.b.t. onderliggende details zijn superbelangrijk;
- Kennis en tools voor inschatten adoptie van innovaties en effecten van beleid;
- Verbreden van het beleidsperspectief door een koppeling te leggen met cruciale ontwikkelingen op andere beleidsdossiers om de doelen voor mobiliteit te halen:
 - O.a. relatie mobiliteit met woning- en arbeidsmarkt.

Operationalisering van brede welvaart voor het werkveld mobiliteitsbeleid

- Indicatoren (KIPs) ontwikkelen voor relevante impacts van mobiliteit en logistiek en kwaliteiten van mobiliteitssystemen en logistieke diensten vanuit brede-welvaartspectief;
 - Indicatoren definiëren en operationaliseren voor relevante maatschappelijke impacts en de bijdrage van mobiliteit en logistiek aan maatschappelijke doelen;
 - O.a. alternatieven voor "voertuigverliesuren" bij wegvervoer als we meer op de kwaliteit van het mobiliteitssysteem als geheel en de kwaliteit van de leefomgeving gaan sturen;
- Brede welvaart operationaliseren in tools voor ex-post monitoring en in modellen voor ex ante evaluatie van beleid:
 - Operationalisatie in modellen voor ex ante evaluatie van beleid omvat o.a. het aanpassen en slim koppelen van bestaande modellen om specifieke brede welvaartsindicatoren en verdelingseffecten berekenbaar te maken en het ontwikkelen van methoden en tools om de weging van verschillende maatschappelijke impacts (zoals op veiligheid, bereikbaarheid, leefbaarheid) van maatregelen te faciliteren en trade-offs en synergiën te kunnen analyseren;
 - Ruimtelijke evenwichtsmodellen om relocatie-effecten en verdelingseffecten te kunnen voorspellen;

- Bijzondere aandacht voor (her)verdelingseffecten / sociale inclusie:
 - O.a. door gebruik van microdata: niet rekenen met gemiddelden / doelgroepen maar op basis van detaildata m.b.t. spreiding in inkomen, woonsituatie, mobiliteitsgedrag, etc.. Slimmer gebruik van bestaande microdata, maar ook verzamelen van nieuwe microdata speciaal voor dit doel.



Beleidsparadigma's en innovatie in beleidsinstrumenten

- Transitie van knelpuntgericht denken (voertuigverliesuren) naar een bredere definitie van bereikbaarheid en toegankelijkheid (voor iedereen);
 - Gekoppeld aan de brede welvaartsbenadering;
- Oplossingen voor "wicked problems";
 - Kiezen vanuit schaarste, bijvoorbeeld vanuit ruimtelijk perspectief;
 - Innoveren of reguleren?
- Nieuwe beleidsinstrumenten voor het ondersteunen / begeleiden van de transitie naar duurzame mobiliteit;
 - Transitiekunde praktisch toepasbaar maken voor de roadmap naar duurzame mobiliteit;
 - Ontwikkelen van samenwerkingsverbanden, participatievormen en een lerende cultuur waarmee met name de sociale en institutionele dimensie van innovaties versneld kan worden;
 - Ontwikkelen en initiëren van nieuwe, cross-sectorale en trans-disciplinaire samenwerkingsvormen en bijbehorende financieringsmodellen.
- Innovatie in beleidsontwikkeling m.b.t. hoe in toekomstige mobiliteitsbehoeften kan worden voorzien;
 - Ontwerpend onderzoeken;
 - Van "predict and provide" (cateren voor de voorspelde vraag) naar "decide and provide" (gewenste mate van toekomstige bereikbaarheid bieden): adaptief beleid dat stuurt op gewenste eindbeeld i.p.v. verwacht eindbeeld;
- Governance-methoden die beter rekening houden met onzekerheden: adaptieve beleidsprogrammering en governance operationaliseren voor mobiliteitsbeleid;
 - Incl. KPIs voor monitoren van voortgang.

4.3 Circulariteit

Het zuinig omgaan met schaarse grondstoffen en het sluiten van grondstoffenkringlopen (circulariteit) wordt een steeds belangrijker aspect van het toekomstbestendig maken van mobiliteit en logistiek. Dit vereist ingrijpende veranderingen in het systeem voor winning en productie van grondstoffen en de verzameling en verwerking van afvalstromen, maar ook in het ontwerp, de productie en het gebruik van producten en diensten, zoals (componenten voor) voer-, vaar- en vliegtuigen. Met betrekking tot de ontwikkeling van circulaire mobiliteit en logistiek speelt er een groot aantal kennisvragen en bredere innovatieopgaven, waaronder:

- Fundamenteel en toegepast onderzoek om te zorgen dat de technologieën die gebruikt worden om mobiliteit en logistiek duurzamer, efficiënter en veiliger te maken het gebruik van schaarse grondstoffen niet vergroten en bij voorkeur verkleinen;
 - Bijv. onderzoek naar batterijen en andere componenten / materialen die gebruik maken van goed te verkrijgen en recyclebare grondstoffen en naar methoden om deze componenten zo te ontwerpen dat ze lang meegaan en maximaal herbruikbaar en/of recyclebaar zijn.
 - Kan verdere verbetering van batterijen (energiedichtheid, levensduur, kosten) en andere componenten gelijk op gaan met verlagen van de inzet van schaarse materialen, verbeteren van de recyclebaarheid, verlaging van de milieu- en andere impacts van bijbehorende productieprocessen, etc.?
 - In welke mate is dit een trade-off, of is er synergie mogelijk, intrinsiek door ontwikkeling van inherent duurzame / circulaire materialen en systemen of door onze toenemende capabilities om complexe systemen te ontwikkelen zo te richten dat beide doelen tegelijk bediend kunnen worden?
 - Incl. ontwikkeling van enabling technologieën zoals methoden voor state-of-health monitoring van batterijen t.b.v. verlenging van de levensduur en ontwikkeling van een batterij-paspoort om hergebruik / 2nd life toepassingen beter mogelijk te maken;
 - Dit omvat circulariteit van zowel voer-, vaar- en vliegtuigen als van de infrastructuur waar ze gebruik van maken;
- Meer kennis is nodig van milieu- en andere impacts in productie- en afvalfase van duurzame voertuigen en hun componenten en materialen;
 - Life cycle analysis (LCA);
 - Design for sustainability;
- Ontwikkeling van technologie en systemen voor inzameling en recycling van batterijen en andere kritische componenten van duurzame voertuigen;:
 - Incl. nieuwe logistieke netwerken voor inzameling en transport van te hergebruiken of recyclen producten en materialen;
 - Met aandacht voor het lokaal sluiten van kringlopen t.b.v. versterking van de lokale economie;
- Inzicht in of en hoe schaarste van grondstoffen of ongewenste impacts in de keten de transitie naar duurzame mobiliteit kunnen belemmeren;
- In welke mate kan modal shift bijdragen aan de reductie van het gebruik van schaarse materialen en het sluiten van materiaalkringlopen?
- Hoe kunnen verschillende proposities vanuit de “deeleconomie” (bijv. deelauto’s en andere deelconcepten) bijdragen aan de reductie van het gebruik van schaarse materialen en het sluiten van materiaalkringlopen?
- Beschikbaarheid van circulaire koolstof i.r.t. de productie en inzet van biobrandstoffen en e-fuels.

Daarnaast zal de transitie naar een circulaire economie ook invloed hebben op mobiliteit en logistiek, waarbij de volgende kennisvragen spelen:

- Welke impact heeft een duurzame en circulaire economie op de vervoersstromen op mondiaal, regionaal en lokaal niveau?
 - Hoe is dit te vertalen naar referentiescenario’s die kunnen worden gebruikt om de impacts van maatregelen in het mobiliteitsdomein in te schatten?
 - Met welke modaliteiten kunnen deze nieuwe stromen het best bediend worden en wat betekent dat voor de bijbehorende infrastructuren, zoals (vaar)wegen en mainports?
 - Wat betekent dat voor de opgave om deze vervoersstromen te verduurzamen?

- Ketenperspectief (logistiek / supply chain management) op circulaire netwerken waarvoor nieuwe logistieke concepten / grondvormen ontwikkeld zullen moeten worden die ook tijdens de transitie efficiënt en effectief kunnen zijn.
 - Van weinig grote productielocaties met steady volumes door het jaar heen (zoals mijnen) naar veel diffusere en mogelijk grilliger aanvoer van grondstoffen.

4.4 Resilience / robuustheid van infrastructuur en het mobiliteitssysteem

Klimaatverandering leidt tot weersextremen. Ons mobiliteitssysteem is op vele manieren kwetsbaar voor extreem weer. Hevige regenbuien veroorzaken verkeersinfarcten op de snelwegen. In de bebouwde kom stromen tunnels vol. Storm en ijzel leiden tot uitvallende treinen. De binnenvaart kan minder varen wanneer het water in de rivier door aanhoudende droogte te laag, of door hevige regen te hoog staat. Bruggen zetten uit door hoge temperaturen en kunnen daardoor niet meer open. Dit alles kan deels worden verminderd door de infrastructuur voor verschillende modaliteiten klimaatadaptief te maken. Waterbergend vermogen inbouwen is daarbij een van de innovatie-opgaven.

Verschillende modaliteiten kunnen tot op zekere hoogte elkaars achtervang zijn. Maar dat vereist wel dat hun capaciteit niet 100% benut is, terwijl dat nou juist wel is wat we met allerlei slimme verkeers- en mobiliteitsbeleid proberen te bewerkstelligen om met dezelfde infrastructuur meer capaciteit te kunnen leveren. Om snel op calamiteiten in te kunnen spelen is digitalisering nodig zodat voor personen en goederen de overstap tussen modaliteiten zo makkelijk mogelijk wordt gemaakt en er te allen tijde een goed overzicht is van de beschikbare capaciteit binnen verschillende deelsystemen.

Bij hoge benutting van de beschikbare capaciteit van infrastructuur zijn mobiliteitssystemen gevoeliger voor verstoringen. Smart technologie helpt enerzijds om problemen in het systeem, zoals ongevallen, files op de snelweg of netcongestie als gevolg van opladende elektrische voertuigen, te voorkomen. Maar de voortschrijdende digitalisatie creëert ook nieuwe kwetsbaarheden. Alles werkt alleen als alles werkt. En digitale systemen kunnen gehackt worden.

Slimme monitoring en onderhoud van infrastructuur dragen eveneens bij aan het voorkomen van onvoorziene verstoringen in het mobiliteitssysteem.

Met betrekking tot de resilience / robuustheid van infrastructuur en het mobiliteitssysteem zijn onder meer de volgende onderzoeksvragen en -thema's relevant:

- Hoe kunnen huidige en toekomstige mobiliteitssystemen en bijbehorende infrastructuur vanuit verschillende perspectieven zo robuust mogelijk worden ontworpen, gebouwd en beheerd?
 - Het kunnen kwantificeren, optimaliseren en monitoren van die robuustheid is hierbij eveneens een belangrijke innovatie-opgave.
- Welke trade-offs heeft het verhogen van de robuustheid van het systeem met andere maatschappelijke doelen die worden nagestreefd?
- Hoe verhouden de kosten van verhoogde resilience zich tot potentieel vermeden schade?
- Hoe kan de kwetsbaarheid van de digitale systemen voor duurzame en slimme mobiliteit en logistiek intrinsiek verminderd worden?

Colofon

Het "*Binas tabellenboek* van innovatieopgaven en kennisvragen voor duurzame en toekomstbestendige mobiliteit voor de periode 2023 – 2026" is tot stand gekomen door inzet van het Missieteam D+, waarvan de leden namens hun bredere achterbannen input hebben geleverd. De leden van het missieteam vertegenwoordigen de volgende organisaties:

Topsectoren:

- TS Energie
- TS HTSM
- TS Logistiek
- TS Water en Maritiem (via Damen Shipyards)
- NLR
- Lucht- en Ruimtevaart

Kennisinstellingen:

- TNO
- HBO Lectorenoverleg energietransitie & duurzaamheid

Bedrijfsleven:

- VDL (namens de OEMs)
- Heijmans (namens de bouwbranche)
- Connexion (namens het OV)
- Damen (namens de maritieme sector)
- Moore & Diesel Ambras (strateeg duurzame mobiliteit)

Beleid:

- I&W
- RWS
- RVO

Vanuit het missieteam was een schrijfteam actief en met financiële ondersteuning van de Topsector Energie is TNO gecontracteerd om het programma mee te onderbouwen en dit "*Binas tabellenboek* van innovatieopgaven en kennisvragen voor duurzame en toekomstbestendige mobiliteit voor de periode 2023 – 2026" op te stellen.

Het Missieteam D+ wil eenieder die input heeft geleverd voor deze herijking en die geïnspireerd hebben met vlammeende betogen of duidelijke presentaties van harte bedanken.

Oplevering: december 2022

Bijlage 1: State-of-the-art m.b.t. duurzame aandrijftechnologie

	BEVs ³⁰	FCEVs	ICEVs op duurzame brandstof
LD weg	Dominante optie voor verduurzaming Significant en stijgend marktaandeel	Wordt door beperkt aantal fabrikanten ontwikkeld en op de markt gebracht, maar potentieel is onduidelijke	Recente voorstel voor aanpassing Europese LDV CO ₂ -normen betekent effectief een ban op verbrandingsmotoren in nieuwe voertuigen vanaf 2035.
HD weg	Marktintroductie komt op gang Potentieel voor toepassing op middellange termijn (op basis van kosten en actieradius) zeer groot. TCO wordt lager dan van diesel.	Ombouwvoertuigen beschikbaar Serieproductie komt nog niet echt op gang Blijft waarschijnlijk altijd duurder dan diesel	Verduurzaming mogelijk via H ₂ , biobrandstoffen en e-fuels Biobrandstoffen (incl. HVO) al grootschalig toegepast In NL meerdere ontwikkeltrajecten m.b.t. H ₂ -ICE
Mobiele werktuigen en aggregaten	Groeiend aanbod, m.n. in kleinere segmenten maar ook toenemend in grotere, zware werktuigen	Beperkte (buitenlandse) ontwikkelingen m.n. voor zwaarder materieel	Focus op Stage V. Toepassing van biobrandstof (m.n. HVO).
Binnenvaart	Technologie gedemonstreerd met wisseling batterij-containers of inzet van batterij-pakketten aan boord voor bijv. veerdiensten Groefonds project toegewezen voor opschaling batterij-pakketten	Technologie gedemonstreerd. Verdere demonstratieprojecten in ontwikkeling Onderzoek m.b.t. brandstof-celtechnologie, meest geschikte waterstofdrager en veiligheid Potentieel interessant voor langere afstanden	Verduurzaming mogelijk via H ₂ , biobrandstoffen en e-fuels (m.n. e-diesel / e-methanol) i.c.m. schone verbrandingsmotor (stage V) Biobrandstoffen (incl. HVO) al grootschalig toegepast
Zeevaart	Technologie gedemonstreerd voor korte afstanden / kleine schepen in specifieke marktsegmenten (havendiensten, ferries, etc).	Demonstratieprojecten in ontwikkeling Onderzoek m.b.t. brandstof-celtechnologie, geschikte waterstofdrager (LH ₂ , methanol, NH ₃) en veiligheid Interessant voor relatief korte afstanden (max. 8 dagen varen) in een vaste routing	Verduurzaming mogelijk via biobrandstoffen en e-fuels Opties zijn methanol, NH ₃ , LNG, diesel, eventueel in combinatie met carbon capture Voor methanol eerste commerciële schepen in ontwikkeling LNG (met carbon capture) en ammoniak nog in ontwikkeling
Trein	Mogelijke oplossing voor korte, niet-geëlektrificeerde lijnen	Technologie gedemonstreerd, vanaf 2027 inzet in Noord Nederland Mogelijke oplossing voor niet-geëlektrificeerde lijnen	Verduurzaming mogelijk via H ₂ , biobrandstoffen en e-fuels
Luchtvaart	Technologie gedemonstreerd Bruikbaar voor kleine toestellen en korte afstanden	Technologie gedemonstreerd Bruikbaar voor kleine toestellen en korte afstanden	Verduurzaming mogelijk via (bijmengen) biobrandstoffen en e-fuels (SAF) E-fuels waarschijnlijk pas over enkele decennia grootschalig beschikbaar Op lange termijn mogelijk compleet nieuw vliegtuigdesign voor toepassing H ₂

³⁰ Voor betekenis afkortingen zie pagina 45

	BEVs	FCEVs	ICEVs op duurzame brandstof
Grootste uitdagingen	Laadinfrastructuur Levensduur (incl. thermal management)	Kosten Levensduur (incl. thermal management) Distributie H2	Beschikbaarheid brandstoffen Lage uitlaatemissies Ontwikkelingen in beleid voor ZE voertuigen
Volgende generatie technologieën	Solid state batterij Heat recovery Cloud-based (fleet) energy management	SOFC Heat recovery	H ₂ -HPDI E-turbo Geofencing(?)

Afkortingen	
BEV	battery electric vehicle
e-turbo	elektrische turbo
FCEV	fuel cell electric vehicle
ICEV	internal combustion engine vehicle
HD	heavy duty (vrachtwagens, bussen, zware werktuigen)
HPDI	high pressure direct injection
HVO	hydrotreated vegetable oil
LD	light duty (personen- en bestelauto's)
LDV	light duty vehicle
L-H ₂	liquefied hydrogen
LNG	liquefied natural gas
NH ₃	ammoniak
SOFC	solid oxide fuel cell
TCO	total cost of ownership

Bijlage 2: State-of-the-art m.b.t. slimme mobiliteit en mobiliteitssystemen

		CCAM/ CAT ³¹ Automatisering van voertuigen	Intelligent verkeersmanagement	Digitalisering van mobiliteit: mobiliteitskeuze / modaliteitskeuze Maas / TaaS / SOL concepten	Fysieke en digitale infrastructuur voor toekomstige mobiliteitssystemen
personen	Wegverkeer: snelweg/ corridor	Dominante omgeving voor 1 ^e toepassing van CCAM/ CAT Grote penetratiegraad van ADAS-functies in NLse vloot Wetgeving in ontwikkeling voor 1 ^e stappen in AD in bepaalde ODDs, o.a. ALKS Vanaf juni 2022 regelgeving voor cybersecurity van AVs	Inzet t.b.v optimaliseren van verkeer en gedrag op (dynamische) snelheidsprofielen. Sturen op collectief nut (veiligheid, duurzaamheid) via individueel rijadvies. Mogelijk maken van gebruik data uit voertuigen (bijv. ROMO, EU Data Task Force)	Eerste voorbeelden van apps t.b.v. pre-trip optimaliseren individueel multimodaal transport	EU ISAD levels gedefinieerd (Europees geaccepteerd classificatieschema) Eerste versies van betrouwbare digitale maps als referentie-omgeving voor EVs en AVs beschikbaar
		goederen	CAT en platooning technisch mogelijk, maar businesscase nog (te) klein (daardoor value case ook i.v.m. benodigde schaalgrootte)	Road Work Warning: In-car advies m.b.t. bouwwerkzaamheden t.b.v. veiligheid	
personen	Wegverkeer: steden	ADAS functies beschikbaar vanuit OEMs t.b.v. veiligheid Pilots met peplemovers voor last mile personenvervoer: kleinschalig op dedicated lanes als alternatief naast regulier OV	30 km zones Invoer ISA, GLOSA Verbetering aansluiting op OV (verlagen drempel collectief vervoer i.p.v. individueel vervoer)	MaaS apps: Inzet van smart maatregelen om pre-trip keuzes te maken Cross-sectorale systeembenadering: link met wonen, werken, smart cities	Grootschalige installatie van Intelligente verkeerslichten (IVRLs)
		goederen	Toepassing AGVs en kleine automatische voertuigen op yards, logistieke hubs	HD maps met zero emissie zones	
goederen	Logistieke terreinen / hubs	Veilige omgeving voor toepassing van CCAM / CAT en ervaring opdoen voordat op openbare weg gereden wordt	Datagestuurde control tower systemen voor veiliger, efficiënter, schoner transport op yards	Optimalisatie door digitalisering en uitwisseling van data	'Custom fit' systemen met AVs gerealiseerd die gebruik maken van magneten en sensoren in wegdek op de yard
personen	Spoor	ATO GOA2 en 3 (automatisch rijden level 2 en 3)	European control traffic system (ECTS) Implementatie ERTMS: nieuw interoperabel veiligheidssysteem	Optimalisatie door digitalisering en uitwisseling van data	Experimenten met Slimme camera's en sensoren op opstelgebieden zoals Botlek, wordt nu uitgerold en gekoppeld aan ATO
goederen		ATO GOA 2 en 3 Remote controle (variant ATO) DAC (automatisch koppelen) Automatische inspectie Automatische remcontrole			

³¹ Voor betekenis afkortingen zie pagina 48

		CCAM/ CAT ³¹ Automatisering van voertuigen	Intelligent verkeersmanagement	Digitalisering van mobiliteit: mobiliteitskeuze / modaliteitskeuze Maas / TaaS/ SOL concepten	Fysieke en digitale infrastructuur voor toekomstige mobiliteitssystemen
goederen / personen	binnenvaart	Ondersteunde (autonome) support met ondersteuning schipper	Smart routing geoptimaliseerd op brandstofverbruik		Slimme sluisen en bruggen Traffic management met enige mate van sensor fusie en AI toegepast voor operator support
goederen / personen	zeevaart	Ondersteunde (autonome) support functies voor vermindering bemensing, vooral voor simpelere taken.	Smart routing geoptimaliseerd op brandstofverbruik		VST: traffic management met enige mate van sensor fusie en AI toegepast voor operator support
personen	Luchtvaart	Verwacht na horizon 2026: zowel technologische uitdagingen als uitdagingen op gebied van regelgeving (certificatie)	FABs / Single European Sky Demonstratie, validatie en implementatie U-space (voor o.a. drones en UAM) o.a. via EU projecten en i.s.m. Nederlandse partijen via Dutch Drone Council en Dutch Drone Delta	Experimenten met lucht taxi's	Onderzoek naar infrastructuur t.b.v. duurzaam vliegen en luchthavenoperatie: o.a. elektrisch laden vliegtuigen en GSE en waterstofoverslag via o.a. Green-Deal demonstratieproject TULIPS en Luchtvaart-in-transitie (NGF).
goederen		Afstand-bestuurd, buiten zicht hoogst haalbare (BVLOS). Geautomatiseerd enkel op afstand van mens, dier en bebouwing		Eerste vormen van pakkettransport met drones	
Grootste uitdagingen		Toelating en typekeuring Human behaviour, transition of control (ToC)	Data delen Cybersecurity Integratie publieke en private systemen Reiziger opvolgedrag	Data delen Digitale platformen Interoperabiliteit van systemen Cybersecurity Privacy / data-integriteit Reiziger-keuzegedrag Digitale vaardigheden gebruikers	Accurate digitale kaarten Lokalisatie
Key enabling technologieën		Slimme (AI) algoritmes voor (zuinige) autonome voertuigen Human behaviour / gedragskennis	ICT technologie Human behaviour / gedragskennis	ICT technologie Human behaviour / gedragskennis Slimme algoritmes / AI	5G/G5
Volgende generatie technologieën				Gaia X/ Federated platforms Block Chain	6G

Afkortingen	
AD	Automated Driving
ADAS	Advanced Driver Assistant Systems
AGV	Automated Guided Vehicle
ALKS	Automatic Lane Keeping Systems
ATO	Automatic Train Operation
ATO GOA	Grade of Automation: GOA2 met machinist aan boord, GOA3 met machinist in control (remote), GOA4 zonder machinist
AV	Automated Vehicle
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
CAT	Connected Automated Transport
CCAM	Connected Cooperative Automated Mobility
DAC	Digital Automated Coupling
ECTS	European Control Traffic System
ERTMS	European Rail Traffic Management system
EV	electric vehicle
FAB	Functional Airspace Block
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advisory
GSE	Ground Support Equipment
HD	High Density
ISA	Intelligent Speed Adaptation
ISAD	Infrastructure Support for Automated Driving
ITS	Intelligent Transportation System
ivRI	intelligente verkeersregelinstallatie
MAAS	Mobility-as-a-Service
ODD	Operational Design Domain
OEM	Original Equipment Manufacturer
ROMO	ROad MONitoring
RSU	Road Side unit
RWW	Road Works Warning
SAE	Levels of Automation gedefinieerd door Society of Automobile Engineers
SOL	Self Organising Logistics
TAAS	Transport-as-a-Service
TM	Traffic Management
TMC	Traffic Management Centre
ToC	Transition of Control
UAM	Unmanned Automated Mobility
VST	Vessel Traffic Services
V2I	Vehicle-to-Infrastructure communication
V2X	Vehicle-to-everything communication