

Innoveren met een missie

Integrale kennis- en innovatieagenda voor klimaat en energie





Innoveren met een missie

Integrale kennis- en innovatieagenda
voor klimaat en energie

De Taakgroep Innovatie

De Taakgroep Innovatie is onderdeel van het Klimaatakkoord. Het behoort tot de zogenoemde dwarsdoorsnijdende thema's. Innovatie is iets dat bij elk van de vijf klimaattafels een rol speelt om de reductiedoelen in 2050 te halen. Vaak loopt de innovatieopgave dwars door de verschillende sectoren heen.

Het Klimaatakkoord is opgedeeld in vijf klimaattafels en een overkoepelend Klimaatberaad.

Het gaat om de volgende tafels: Elektriciteit, Industrie, Mobiliteit, Landbouw & Landgebruik, Gebouwde Omgeving.

Meer informatie kunt u vinden op www.klimaatakkoord.nl

Het secretariaat van het Klimaatakkoord is ondergebracht bij de SER.

Secretariaat Klimaatakkoord
Bezuidenhoutseweg 60
Postbus 90405
2509 LK Den Haag

T 070 3499 644
E klimaatakkoord@ser.nl

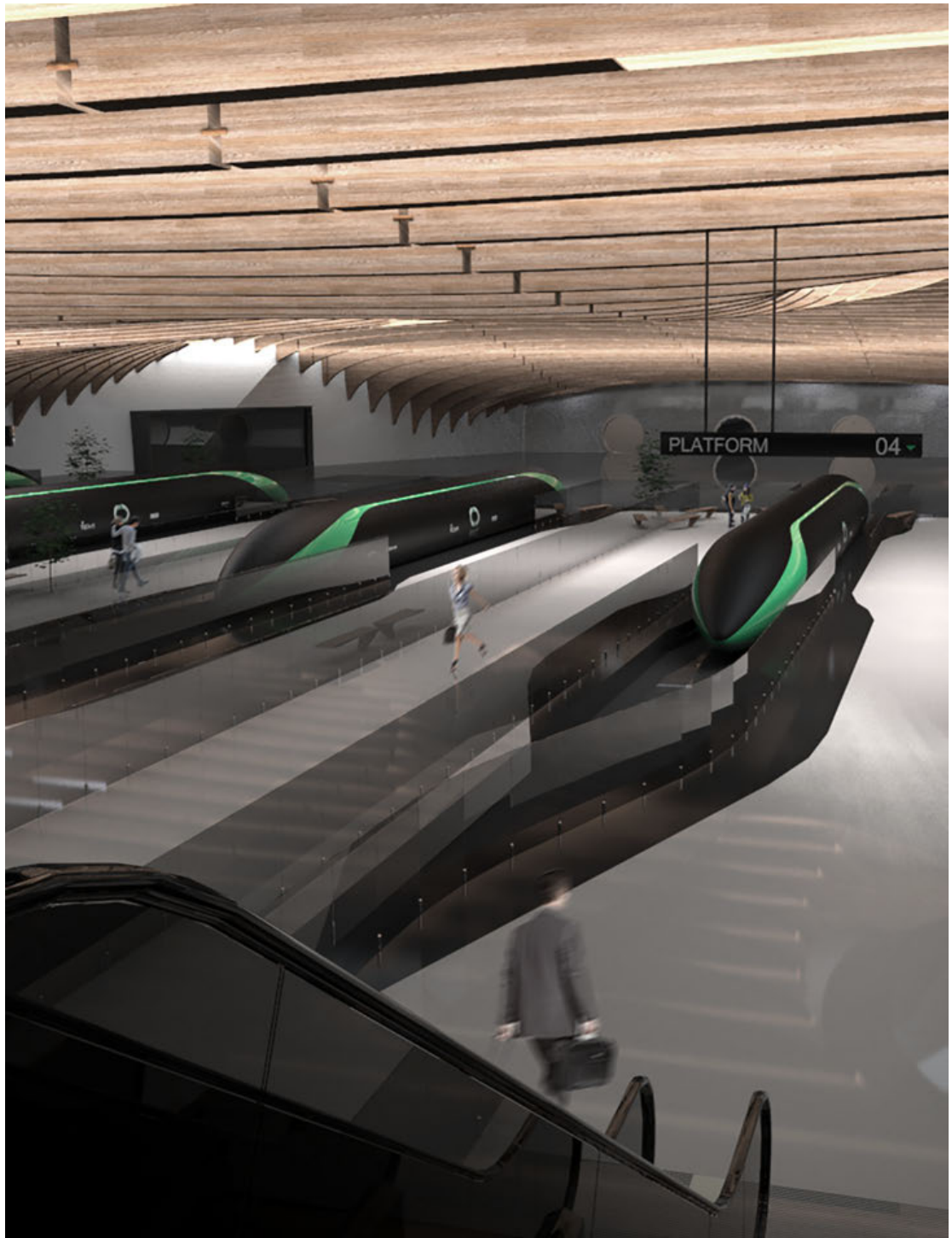
www.klimaatakkoord.nl

Inhoudsopgave

Hoog bezoek	5
Voorwoord	9
Samenvatting	13
1. Naar een integrale kennis- en innovatieagenda (IKIA) voor klimaat en energie	19
1.1 De uitdaging	20
1.2 Missiegedreven innovatiebeleid	20
1.3 IKIA klimaat en energie	22
1.4 Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's)	23
1.5 Proces totstandkoming IKIA Klimaatakkoord	23
1.6 Leeswijzer	24
2. Innovatieprogramma's vanuit maatschappelijke missies Klimaatakkoord	25
2.1 IKIA op hoofdlijnen	28
2.2 Elektriciteit	30
2.3 Gebouwde omgeving	32
2.4 Industrie	35
2.5 Mobiliteit	39
2.6 Landbouw en landgebruik	41
2.7 Systeemintegratie	43
3. Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)	45
3.1 MMIP 1. Hernieuwbare elektriciteit op zee	50
3.2 MMIP 2. Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving	57
3.3 MMIP 3. Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving	63
3.4 MMIP 4. Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)	69
3.5 MMIP 5. Het energiesysteem binnen de gebouwde omgeving in evenwicht	77
3.6 MMIP 6. Sluiting van industriële ketens	82

3.7	MMIP 7. CO ₂ -vrij industrieel warmtesysteem	88
3.8	MMIP 8. Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen	92
3.9	MMIP 9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit	97
3.10	MMIP 10. Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen	105
3.11	MMIP 11. Klimaatneutrale productie food en non-food	111
3.12	MMIP 12. Land en water optimaal ingericht op CO ₂ vastleggen en gebruik	116
3.13	MMIP 13. Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem	123
4.	Reacties uit de consultatie en vervolgproces IKIA	131
4.1	Reacties uit de consultatie	132
4.2	Het vervolg: naar missiegedreven innovatiebeleid voor klimaat en energie	133
Bijlagen		
1	Samenstelling de Taakgroep Innovatie	137
2	Geconsulteerde partijen	139

Hoog bezoek



Hyperloopstation Schiphol. Europees netwerk maakt vliegen in EU overbodig.

Het is 1 juni 2050; koningin Amalia verwelkomt de derde vrouwelijke president van de Verenigde Staten op het hyperloop station Schiphol. De hyperloop is een efficiënte logistieke verbinding die het vliegtuig bijna volledig uit Europa heeft verdreven. Het doel van haar bezoek is kennis maken met het unieke duurzame energiesysteem van Nederland en zien hoe dit land van de energietransitie een nieuw succesnummer wist te maken. Wat haar meteen opvalt zijn de DAC installaties op de daken van nieuwe bedrijfsgebouwen. Deze 'Direct Air Capture' systemen halen CO₂ uit de lucht die weer gebruikt wordt voor de productie van volledig duurzame grondstoffen. Door deze ontwikkeling is Nederland in Europa het land met de hoogste negatieve emissies. De Nederlandse industrie, eens een grote bron van CO₂-uitstoot, is door grootschalige elektrificatie en circulaire productieprocessen volledig groen geworden.

Historische wijken energieneutraal

De president stapt na haar aankomst in een elektrische zelfrijdende auto, die haar naar Amsterdam zal brengen. Een stad waar zowel de oude, zeventiende eeuwse gebouwen als de meer recente wijken energieneutraal of -positief zijn gemaakt. De president is ook geïnteresseerd in de op industriële schaal uitgevoerde renovatie/isolatiecampagne in Nederland, die energieconsumptie in oude wijken drastisch terugbracht en als bijvangst de leefbaarheid sterk heeft vergroot. Deze grootschalige aanpak ziet zij als mogelijkheid om de verloedering van Amerikaanse suburbs terug te draaien. "Wij exporteren onze kennis graag en je zult zien dat onze groene economie geen fake news is", meldt koningin Amalia, terwijl de e-car de snelweg oprijdt. Deze wegen zijn uitgerust met zonnecellen, die zonlicht omzetten in elektriciteit en middels inductie direct doorgeven aan de batterijen van de e-car. Het zeer intensieve laadpalennetwerk uit 2030 wordt dan ook, net als de postbussen in 2020, stapsgewijs afgebouwd. "In Nederland benutten we elke vierkante centimeter verhard oppervlakte voor energieproductie", meldt koningin Amalia aan de Amerikaanse president. Dat was haar nog niet opgevallen. De Nederlandse systeem-bouwkunde is benut om zonnecellen, gefabriceerd in Afrika, de snelst groeiende economische regio in de wereld met nog lage lonen, vrijwel onzichtbaar te integreren in daken, muren, ramen en kleding of aangebracht als verf op vele andere voorwerpen.

Emissieloos telen

Na het bezoek aan Amsterdam gaat het gezelschap op excursie bij enkele Nederlandse landbouwbedrijven. In hightech farms wordt volledig energieneutraal en emissieloos geteeld. Alle niet benutte biomassa wordt hergebruikt. Biomassa is kostbaar als leverancier van grondstoffen. "Hoe is het mogelijk dat we dit materiaal

vroeger verbrandden”, zeggen Amalia en de president tegen elkaar. De volgende dag wordt stilgestaan bij het Nederlandse energiesysteem. Middels een Artificial Intelligence en Virtual Reality presentatie ervaart de president de opzet en werking van het robuuste geïntegreerde Nederlandse energiesysteem; een systeem van slim aan elkaar verbonden lokale, regionale, nationale en internationale systemen. Middels slimme algoritmes worden het wisselende aanbod en de wisselende vraag naar energie op elkaar afgestemd. De scheiding tussen elektriciteit, gas, warmte en andere energiedragers is volledig vervaagd. Waar mogelijk wordt op de plek waar energie wordt geproduceerd ook de energie gebruikt. De president is erg onder de indruk van de uitleg van een energiebaron over het functioneren van het energiesysteem in zijn Energieschap. Energieschappen zijn speciale bestuursorganen die verantwoordelijk zijn voor de energievoorziening in zijn of haar regio. “Dit concept is afgekeken van waterschappen”, meldt de Energiebaron, “een eeuwenoud efficiënt bestuursmodel voor waterbeheer”. “Alle Energieschappen en andere spelers in het energiedomein werken met uitgebreide protocollen, afwegingskaders en complexe beslissingsondersteunende instrumenten en regelgeving, om gezamenlijk adequate besluiten te kunnen nemen. Dit is noodzakelijk omdat voor het complexe Nederlandse energiesysteem geen centrale regie meer mogelijk is en we het systeem betrouwbaar en veilig willen houden”, meldt de Energiebaron. Tenslotte krijgt de president uitleg over de businessmodellen die Nederland hanteert. Modellen die zorgen dat het systeem efficiënt en betaalbaar blijft en bedrijven stimuleren nieuwe producten en diensten te leveren.

CCS niet meer nodig

De volgende dag wordt met een met synthetische brandstof aangedreven helikopter een rondvlucht gemaakt over de grote windparken op zee en over de grootschalige opslagsystemen, die slim gebruik maken van de opslagcapaciteit van lege aardgasvelden en worden benut voor buffering van overschotten aan opgewekte energie, of goedkoop opgekochte duurzame elektriciteit afkomstig van de solarfields in Zuid-Europa. “Wat zijn die bruine en groene velden op zee?”, vraagt de president. “Hier telen we zeewier tussen de windmolens. Dat voorziet ons van eiwit, polymeren en grondstof voor energieproductie”, antwoordt Amalia. Vanuit de lucht was ook goed te zien hoe zwermen drones en robots, zonder directe menselijke bemoeienis, onderhoud aan de installaties uitvoeren en toezicht uitvoeren op het multifunctioneel gebruik van Noordzee. Ook duidelijk zichtbaar waren de ontmantelingswerkzaamheden van de Carbon Capture and Storage (CCS) offshore installaties. Nu de Nederlandse uitstoot van CO₂-negatieve waardes heeft, is CCS niet meer nodig.

Kryptonite

Na deze rondvlucht landt de helikopter op het dak van het IKIA Knowledge Centre, wat staat voor Integrale Kennis- en Innovatieagenda (niet te verwarren met een in Zweden opgericht meubel en woonaccessoires concern, nu in eigendom van een Aziatisch concern). Deze voor de Nederlandse behoefte ontwikkelde kennis-agenda is opgebouwd uit een samenhangende set aan meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's, waaraan alle kennisorganisaties en veel bedrijven in Nederland meedoen. "Deze aanpak is de motor van de succesvolle energietransitie in Nederland", roept koningin Amalia trots. In het IKIA Centre wordt gewerkt aan een nieuw proces, 'Kryptonite' genaamd; een nieuwe duurzame bron van onmetelijke hoeveelheden energie. Een Nederlandse vinding, ontwikkeld in een speciaal, buiten de missiegedreven programma's opgezet innovatieprogramma voor nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek. "Dit wordt de energiebron van de toekomst", zegt de trotse wetenschappelijk directeur, "deze technologie gaat de huidige technologie vervangen. We krijgen een energietransitie! In het Openluchtmuseum wordt al ruimte gemaakt voor de windmolen op zee, die we plaatsen naast de watermolen, stoommachine en gasgenerator".

Holland First

Na een lichte lunch met volop verse groente en precies op haar RNA-profiel afgestemde hamburgertjes van plantaardig eiwit, stapt de president zwaar onder de indruk in haar hyperloop. "Het is Holland first", fluistert ze haar assistent in zijn oren.

Voorwoord



Drijvende zonnepanelen in de Slufter. Integratie met andere functies is een van de innovatie-opgaven.

De maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord stelt in alle sectoren hoge eisen aan het innovatievermogen van onze economie en samenleving. Innovatie is benoemd als een doorsnijdend thema binnen het Klimaatakkoord. Een Taakgroep Innovatie is ingesteld om in opdracht van het Klimaatberaad een integrale (door alle sectoren heen en over de hele innovatieketen heen) kennis- en innovatieagenda (IKIA) op te stellen als onderdeel van het Klimaatakkoord en in lijn met de afspraken aan de sectortafels. Deze agenda articuleert de benodigde kennis en innovatie voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord. De agenda stelt kennisinstellingen, departementen en bedrijven in staat om de innovatieopgaven te vertalen naar hun programmering.

De vijf sectortafels van het Klimaatakkoord hebben breed gedragen afspraken gemaakt over concrete doelen en mogelijke oplossingsrichtingen om de maatschappelijke opgave aan te pakken. De Taakgroep heeft deze vertaald in vijf missies voor 2050 en tussendoelen voor 2030. De hiervoor benodigde kennis en innovatie is leidend voor deze IKIA. Daarmee past deze IKIA bij uitstek bij de recente ontwikkeling binnen het innovatiebeleid, om maatschappelijke uitdagingen centraal te stellen, onder de noemer van missiegedreven innovatiebeleid en Horizon Europe.

Een doelgerichte en toekomstbestendige kennis- en innovatieagenda voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord wordt gekenmerkt door een goede balans tussen aandacht voor de korte termijn (ontwikkeling, demonstratie en uitrol) en voor de middellange en lange termijn (onderzoek en ontwikkeling). Daarmee wordt het halen van de 2030 (tussen)doelen mogelijk gemaakt en wordt tegelijkertijd de noodzakelijke basis gelegd voor het realiseren van de missies voor 2050.

De kennis- en innovatieopgaven om een missie mede te helpen realiseren vragen doorgaans een langjarig commitment voor een programmatische aanpak, en krijgen in deze agenda vorm in dertien zogenoemde Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). Naast maatschappelijke gedreven onderzoek en innovatie in het kader van het Klimaatakkoord blijven ook nieuwsgierigheidgedreven en aanbodgedreven onderzoek en innovatie van belang voor maatschappelijke uitdagingen. Als hier relevante onderwerpen voor een MMIP uit naar voren komen, kunnen deze ook hierin een plek krijgen.

Deze IKIA voor klimaat en energie is een nadere uitwerking van paragraaf D3 (pp.183-192) in het Ontwerp van het Klimaatakkoord. De voorlaatste versie van deze IKIA is ter consultatie voorgelegd aan brede vertegenwoordiging van de topsectoren en kennisinstellingen. Dit diende een tweeledig doel: ten eerste het valideren van de samenhang en volledigheid, vanuit de expertise in het werkveld. Ten tweede het bepalen van de aansluiting bij bestaande kennis- en innovatieprogramma's. Naast brede omarming van de missiegedreven aanpak en belangstelling om bij te dragen aan de verdere uitwerking en programmering, zijn waardevolle suggesties gedaan voor aanscherping. Waar mogelijk en passend zijn niet controversiële suggesties verwerkt. Algemene of meer controversiële discussiepunten zijn in het laatste hoofdstuk van deze IKIA opgetekend ten behoeve van het vervolgproces.

Voor het vervolgproces bieden de geformuleerde missies mijns inziens een solide en stabiel fundament met ruimte voor cross-sectorale samenwerking. De MMIP's die ten dienste staan van deze missies hebben een dynamischer karakter. De invulling hiervan vraagt met enige regelmaat om herijking en bijstelling. De missies lenen zich dus goed voor zowel een sturende rol in de vormgeving en vernieuwing van het topsectorenbeleid, zoals aangekondigd in het Regeerakkoord, als voor de borging van de uitvoering van deze agenda ten behoeve van het Klimaatakkoord. Uitdagingen hierbij zullen zijn de integraliteit van de missies en de aanpak van doorsnijdende thema's, zoals circulariteit. Dit vraagt borging en regie door een overkoepelende structuur over de missieaanpak, waarbij ook de wetenschap nadrukkelijk wordt betrokken. Aanbeveling 4.c in het advies 'Oppakken en doorpakken' van de Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie (AWTI, 2016) kan daartoe als richtlijn dienen. De AWTI pleit ervoor missiegedreven programma's zoveel mogelijk onder één bestuurlijk dak te brengen dat verantwoordelijk is voor de samenhang en voortbouwt op de topsectorstructuur. We moeten ernaar streven hierbij verbindingen te leggen met de andere in het Regeerakkoord benoemde maatschappelijke thema's, zoals landbouw, water en voedsel; gezondheid en zorg; en veiligheid.

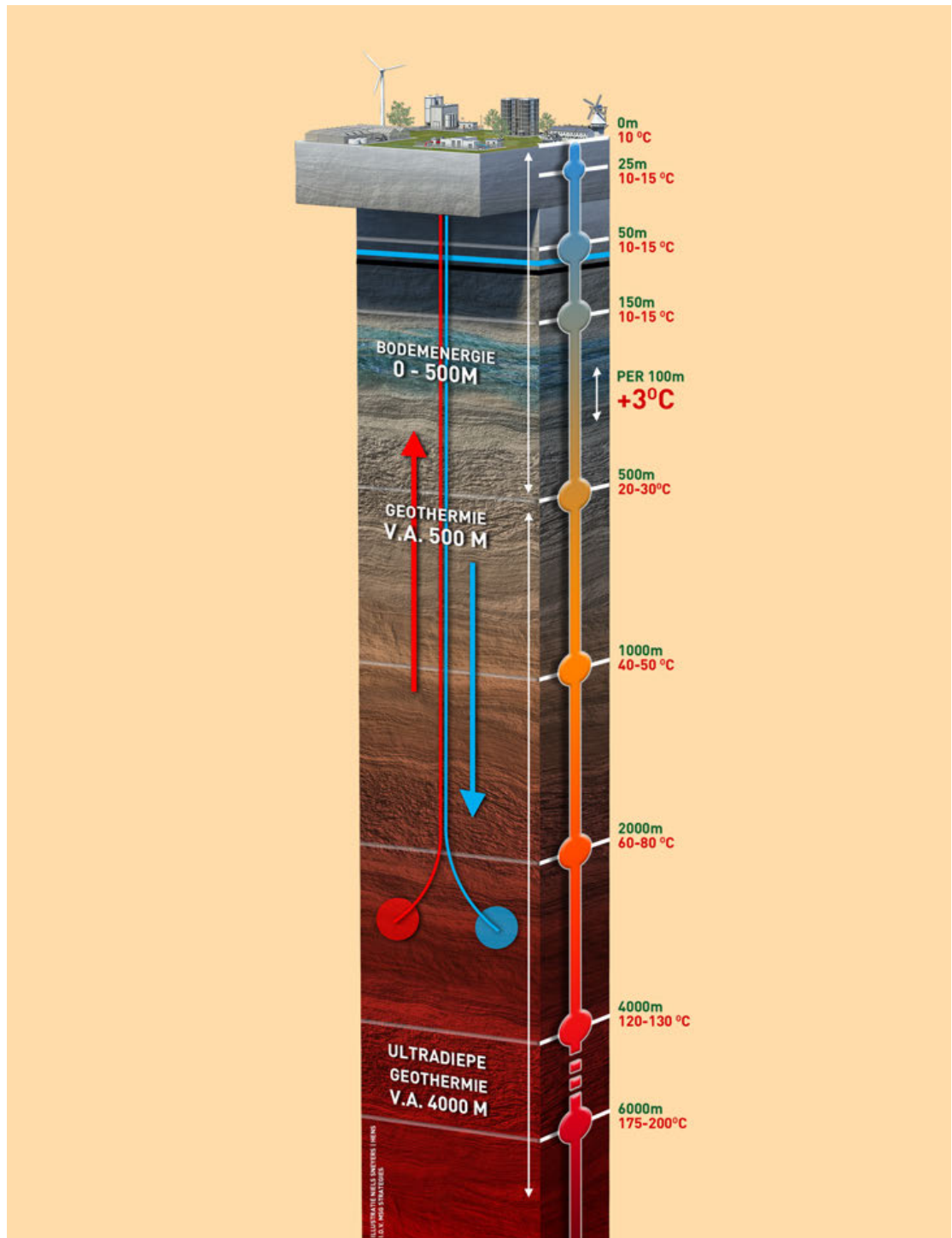
Deze IKIA legt een stevige basis voor het nieuw vorm te geven missiegedreven innovatiebeleid om de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord te gaan realiseren. De volgende stap is om voor deze IKIA een governance structuur op te tuigen en instrumentarium en financiering in te richten om sturing te kunnen

geven aan de hoge eisen aan het innovatievermogen van onze economie en samenleving. Ik wens alle partijen veel succes met het creëren van nieuwe en het versterken van bestaande samenwerkingsverbanden voor succesvolle Nederlandse innovaties die bijdragen aan de maatschappelijke opgaven voor onze gezamenlijke toekomst.

Tim van der Hagen

Voorzitter Taakgroep Innovatie Klimaatakkoord

Samenvatting



Ultradiepe geothermie kan warmte opleveren die de industrie nodig heeft voor productieprocessen.

In de integrale kennis- en innovatieagenda (IKIA) voor klimaat en energie staat de kennis en innovatie die nodig is voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord centraal. De vijf sectortafels van het Klimaatakkoord hebben breed gedragen afspraken gemaakt om de maatschappelijke opgave aan te pakken. De hiervoor benodigde kennis en innovatie is leidend voor deze IKIA. Daarmee past het bij uitstek bij de recente ontwikkeling binnen het innovatiebeleid, om maatschappelijke uitdagingen centraal te stellen, onder de noemer van missiegedreven innovatie-beleid.

Urgentie en concreetheid

Missiegedreven innovatiebeleid stuurt op het oplossen van maatschappelijke uitdagingen, en tracht op deze domeinen de concurrentiepositie te versterken en economische groei te realiseren. Missies zijn richtinggevend en ambitieus, maar vragen ook urgentie en concreetheid. Maatschappelijke missies zijn zelden uitsluitend technologisch van aard. Ze vragen veelal om een combinatie van veranderingen in technologie, regels en gedrag. Bovendien vraagt het realiseren van maatschappelijke missies om een sterke focus op de verspreiding van innovaties. Alleen als innovaties op grote schaal worden toegepast dragen ze bij aan het behalen van de missie.

Vertalen naar marktvraag

De innovatieopgave gaat dus verder dan het ontwikkelen en testen van innovaties. Daarom is het essentieel dat de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord en de afspraken daarover worden vertaald in een duidelijke marktvraag, die maakt dat bedrijven en consumenten de innovaties daadwerkelijk willen adopteren. Dit kan via normstelling, beprijzing, verboden, wet- en regelgeving, grootschalige investeringsprogramma's, nieuwe financiële arrangementen om burgers te verleiden te investeren, inkoopprogramma's van overheden en (tijdelijke) aanschafsubsidies voor nieuwe technologie.

Langjarig commitment

Deze IKIA die integraal onderdeel is van het Klimaatakkoord presenteert vijf missies die gezamenlijk bijdragen aan vergaande emissiereductie in 2050. De innovatieopgaven om deze vijf missies mede te helpen realiseren vragen doorgaans een langjarig commitment voor een programmatische aanpak en krijgen vorm in zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). Dertien van zulke innovatieprogramma's (MMIP's) zijn geformuleerd. Voor elke MMIP schetst

deze IKIA wat de verwachte bijdragen zijn aan de missies en welke kennis- en innovatieopgaven op korte termijn moeten worden opgepakt ten behoeve van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie. Op de hierna volgende pagina's zijn de vijf missies voor 2050, de tussendoelen voor 2030 en de dertien MMIP's inclusief deelprogramma's samengevat in een overzicht.

IKIA Klimaatakkoord

Missies	A Een volledig CO ₂ -vrij elektriciteitssysteem in 2050	B Een CO ₂ -vrije gebouwde omgeving in 2050
Met als tussendoel(en)	In 2030: • wordt er op land jaarlijks minimaal 35 TWh elektriciteit opgewekt met windenergie en zonne-energie > 15 kW; • wordt er minimaal 49 TWh elektriciteit opgewekt met wind op zee.	In 2030: • gaan 200.000 bestaande woningen/jaar van aardgas af; • zijn 1,5 mln woningen en 15% van de u-bouw en maatschappelijk vastgoed, aardgasvrij; • wordt minimaal 20% van het lokale energiegebruik (incl. EV) binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt.
MMIP's Meerjarige Missiegedreven InnovatieProgramma's en deelprogramma's	1 Hernieuwbare elektriciteit op zee • Kostenreductie en optimalisatie • Integratie offshore energie in het energiesysteem • Inpassing in de omgeving (ecologie en medegebruik)	3 Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving • Enthousiasme van gebouweigenaren en gebruikers voor energierenovatie (MVI) • Robotisering, digitalisering en integratie installatietechniek in bouwelementen • Energieconcepten (incl. optimalisatie in de keten)
	2 Hernieuwbare elektriciteits-opwekking op land en in de gebouwde omgeving • Verlaging van opwekkosten • Nieuwe toepassingen, optimaal geïntegreerd • Versnelling met maatschappelijk enthousiasme • Integrale duurzaamheid • Integratie in het energiesysteem	4 Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw) • Stille, compacte, slimme, kostenefficiënte warmtepompen • Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen • Slimme compacte warmte-batterij • Slimme laag/midden temperatuur warmtenetten • Grootschalige thermische opslag • Geothermie
	13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem • Samen fact-based beslissen en vormgeven, inclusief verdienmodellen • Ruimtelijke inpassing • Inrichting infrastructuur, flexibiliteit, marktmechanismen en digitalisering • Power-to-Molecules • Grootschalige energieopslag, energie transport en hybridisering energievraag	5 Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht • Lokale systeemoptimalisatie • Regelalgoritmen voor besparing, energieoptimalisatie en sectorkoppeling • Data-architectuur en handelssystemen • Flexibiliteit en elektriciteitsopslag

IKIA Klimaatakkoord

C In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80% circulair	D Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050	E In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaatneutraal
In 2030: • worden 50% minder primaire grondstoffen verbruikt; • zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO ₂ equivalent; • is verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300°C bereikt; • zijn elektrificatie en CO/CO ₂ hergebruik geëffectueerd; • wordt CCS kosteneffectief ingezet; • is duurzame waterstofproductie op weg naar implementatie; • worden biograndstoffen gezien als standaard.	In 2030: • zijn er 1,9 miljoen elektrische vervoersmiddelen; • is 1/3 van het energieverbruik in de mobiliteit hernieuwbaar; • maken we 8 miljard minder zakelijke (auto)kilometers; • hebben minimaal de 32 grootste gemeenten zero-emissiezones voor stadslogistiek.	In 2030: • is een extra reductie bereikt van minimaal 1 Mton CO ₂ eq. methaan, 1 Mton CO ₂ eq. reductie energieverbruik glastuinbouw en 1,5 Mton CO ₂ eq. reductie door slimmer landgebruik.
6 Sluiting van industriële kringlopen • Circulaire grondstoffen en producten • Biobased grondstoffen en producten • Ontwerp en inbedding van nieuwe circulaire ketens • Toepassing CCS en maatschappelijke acceptatie	9 Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit • Zero-emissie aandrijftechnologie en voertuigen • Energiedistributie voor elektrische voertuigen • Distributie van waterstof en andere energiedragers voor brandstofcelvoertuigen • Innovatieve hernieuwbare brandstoffen • Zuinige voertuigen	11 Klimaatneutrale productie food en non-food • Reductie methaanemissies door pens- en darmfermentatie • Reductie emissies uit stal en mestopslag • Koolstofvastlegging en vermindering emissies landbouwbodems en bemesting • Vermindering emissies veenweidegebieden
7 CO₂-vrij industrieel warmtesysteem • Warmtehergebruik, -opwaarding en opslag • Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie • Toepassing klimaatneutrale brandstoffen • Systeemconcepten voor warmte en koude • Maximalisering van proces-efficiency		
8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen • Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen • Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen • Flexibilisering en digitalisering • Radicaal vernieuwde processen • Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie	10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen • Weten wat mensen beweegt • CO ₂ -reductie door nieuwe mobiliteitsconcepten voor personenvervoer • CO ₂ -reductie door innovaties in logistiek • Transitie-ondersteunende kennis en tools	12 Land en water optimaal ingericht op CO₂ vastlegging en gebruik • Zeewiervereiding, -teelt en na-oogst • Verdubbelde fotosynthese • Eiwit voor humane consumptie • Klimaatbehoudende natuur • Klimaatvriendelijke keuze bij aanschaf producten • Gezonde voedselkeuze • Gebruiksreductie naar nulmissie
13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem • Samen fact-based beslissen en vormgeven, inclusief verdienmodellen • Ruimtelijke inpassing • Inrichting infrastructuur, flexibiliteit, marktmechanismen en digitalisering • Power-to-molecules • Grootschalige energieopslag, energie transport en hybridisering energievraag		

1 Naar een integrale kennis- en innovatie-agenda (IKIA) voor klimaat en energie



Binnenhalen van eerste oogst Noordzeeboerderij. Zeewier heeft veel potentieel voor energie, grondstof voor voeding en de industrie.

1.1 De uitdaging

De maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord stelt in alle sectoren hoge eisen aan het innovatievermogen van economie en samenleving. Innovatie is benoemd als een doorsnijdend thema binnen het Klimaatakkoord. Een Taakgroep Innovatie is ingesteld om in opdracht van het Klimaatberaad een integrale (door alle sectoren heen en over de hele innovatieketen heen) kennis- en innovatieagenda (IKIA) op te stellen als onderdeel van het Klimaatakkoord. De agenda articuleert de benodigde kennis en innovatie voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord. De agenda stelt kennisinstellingen, departementen en bedrijven in staat om de innovatieopgaven te vertalen naar hun programmering.

In deze IKIA staat de kennis en innovatie die nodig is voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord centraal. De vijf sectortafels van het Klimaatakkoord hebben breed gedragen afspraken gemaakt over concrete doelen en mogelijke oplossingsrichtingen om de maatschappelijke opgave aan te pakken. De hiervoor benodigde kennis en innovatie is leidend voor deze IKIA. Daarmee past deze IKIA bij uitstek bij de recente ontwikkeling binnen het innovatiebeleid, om maatschappelijke uitdagingen centraal te stellen, onder de noemer van missiegedreven innovatiebeleid.¹

Doordat de maatschappelijke opgave (vraag) leidend is, en niet de economische propositie, wijkt de agenda in meer of mindere mate af van de meer aanbodgedreven kennis- en innovatieagenda's (KIA's) die doorgaans worden opgesteld, bijvoorbeeld in het kader van het topsectorenbeleid. Naast maatschappelijke gedreven onderzoek en innovatie blijft ook nieuwsgierigheidgedreven en aanbodgedreven onderzoek en innovatie van belang.

1.2 Missiegedreven innovatiebeleid

Missiegedreven innovatiebeleid stuurt op het oplossen van maatschappelijke uitdagingen, en tracht op deze domeinen de concurrentiepositie te versterken en economische groei te realiseren. Het is een aanvulling op het klassieke innovatiebeleid dat vooral gericht is op het vergroten van de investeringen in innovatie door het bedrijfsleven (via fiscale prikkels). Missiegedreven innovatiebeleid bouwt voort op het belang van samenwerking binnen het innovatiesysteem, zoals ontwikkeld in

¹ In de recente Kamerbrief 'Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact' van de minister van EZK wordt het Klimaatakkoord nadrukkelijk benoemd als voorbeeld proces voor het moderniseren van het innovatiebeleid.

het kader van het topsectorenbeleid (2010-2018), en moet aan die samenwerking (nog) nadrukkelijk(er) richting geven vanuit een missie die gerelateerd is aan een maatschappelijk probleem. Deze aanpak beoogt dat ook maatschappelijk gewenste innovaties tot bloei kunnen komen waarvoor nog geen kapitaalcrachtige markt-vraag bestaat, of die zo radicaal zijn dat bestaande innovatiesystemen deze niet of niet snel genoeg ontwikkelen. We hanteren de volgende definitie²:

“Een maatschappelijke missie is een strategisch doel dat urgentie kent, inspeelt op belangrijke maatschappelijke vraagstukken en baanbrekende veranderingen vereist.”

Een missie geeft dus richting en is ambitieus, maar vraagt ook urgentie en concreetheid.³ Maatschappelijke missies zijn zelden uitsluitend technologisch van aard. Het voorkomen van te sterke opwarming van de aarde vraagt weliswaar om nieuwe technologie, zoals emissievrije auto's en warmtepompen, maar ook om allerlei veranderingen in regelgeving, gedrag en beprijzing. Maatschappelijke missies vragen dus veelal om een combinatie van veranderingen in technologie, regels en gedrag. Missies kunnen gericht zijn op de ontwikkeling en verspreiding van één specifieke technologische oplossing; of tot doel hebben een probleem op te lossen door het combineren of integreren van verschillende technologische innovaties (systeem-integratie); of om een sociaal-maatschappelijk probleem op te lossen door een breder scala aan oplossingen te ontwikkelen die mogelijk diepgaande veranderingen in consumentengedrag, financiering, regels en coördinatiestructuren vragen.⁴

Het realiseren van maatschappelijke missies vraagt om een sterke focus op de verspreiding van innovaties. Alleen als innovaties op grote schaal worden toegepast dragen ze bij aan het behalen van de missie. De innovatieopgave gaat dus verder dan het ontwikkelen en testen van innovaties. Daarom is het essentieel dat de maatschappelijke opgave wordt vertaald in een duidelijke markt-vraag, die maakt dat bedrijven en consumenten de innovaties daadwerkelijk willen adopteren. Dit kan via normstelling, beprijzing, verboden, wet- en regelgeving, grootschalige investeringsprogramma's, nieuwe financiële arrangementen om burgers te verleiden te investeren, inkoopprogramma's van overheden en (tijdelijke) aanschafsubsidies voor nieuwe technologie. De afspraken hierover vormen een drijfveer voor

-
- 2 Hekkert, Van der Vooren en Wesseling (november 2018), *Maatschappelijke missies en innovatiebeleid: hoe gaan ze samen?* MeJudice
 - 3 Mazzucato, M. (2018). *Mission-oriented research & innovation in the European Union. A problemsolving approach to fuel innovation led growth*. Brussel: European Commission.
 - 4 Taakgroep Innovatie van het Energieakkoord (2018), *Missie-gedreven innovatiebeleid voor energie- en klimaatambities*.

bestaande en nieuwe bedrijven en kennisinstellingen om te investeren in kennis en innovatie gericht op oplossingen die bijdragen aan de maatschappelijke opgave.

1.3 IKIA klimaat en energie

De vijf sectortafels van het Klimaatakkoord hebben breed gedragen afspraken gemaakt over concrete doelen en oplossingsrichtingen om de maatschappelijke opgave aan te pakken. De Taakgroep heeft deze vertaald in vijf missies voor 2050 en tussendoelen voor 2030. De sectortafels hebben ook afspraken gemaakt over de maatregelen en instrumenten die nodig zijn om de missies te volbrengen, zoals het maken van roadmaps, wegnemen van belemmeringen, aanpassen van wet- en regelgeving, het creëren van financieringsruimte, het creëren van een markt voor oplossingen via beprijzing, normstelling, aanbesteding of subsidies. Ook het ontwikkelen of verbeteren van technologie, of nieuwe methodes, businessmodellen en sociale innovaties voor de maatschappelijke implementatie van technologie zijn onderdeel van het afsprakenpakket. Dit laatste betreft de kennis- en innovatieopgave, hetgeen dus onderdeel uitmaakt van het geheel aan afspraken om de missies te realiseren.

Deze IKIA is dus onderdeel van het Klimaatakkoord. De agenda articuleert de benodigde kennis en innovatie voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord. De koppeling met maatschappelijke missies van het Klimaatakkoord kan een enorme stimulans betekenen voor de topsectoren, kennisinstellingen en bedrijven. Innoveren, en het mobiliseren van de investeringen die nodig zijn voor opschalen, wordt veel aantrekkelijker als de marktvraag is geborgd.

Vanwege het belang van uitrol van innovaties bij een missiegedreven aanpak bestrijkt de agenda de gehele kennis- en innovatieketen, van fundamenteel en toegepast onderzoek tot en met demonstratie en implementatie en grootschalige uitrol. Meer expliciet identificeert de agenda de kennis- en innovatieopgaven voor:

- Onderzoek, ontwikkeling en innovatie van technieken en maatregelen die tussen 2030 en 2050 een wezenlijke bijdrage moeten leveren;
- Pilots en demonstratie van technieken en maatregelen die op dit moment nog niet rijp zijn voor grootschalige uitrol;
- Grootschalige uitrol van technieken en maatregelen die nodig zijn voor realisatie van de doelen, maar waarvoor nog geen volwassen markt bestaat.

De innovatieopgaven om een missie mede te helpen realiseren vragen doorgaans een langjarig commitment voor een programmatische aanpak en krijgen vorm in zogenaamde Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's).

1.4 Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)

Om de missie te kunnen realiseren is er een programma-aanpak nodig (Meerjarig Missiegedreven Programma), waar de benodigde kennis- en innovatie-inzet onderdeel van uitmaken. Dertien van zulke innovatieprogramma's (MMIP's) zijn opgesteld. Voor elke MMIP schets deze IKIA wat de verwachte bijdragen zijn aan de missies en welke kennis- en innovatieopgaven op korte termijn moeten worden opgepakt ten behoeve van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie. Niet alle mogelijke onderwerpen die een bijdrage kunnen leveren aan de missie worden omgezet tot of maken deel uit van een MMIP. Deze onderwerpen kunnen gebruik blijven maken van het generieke innovatie-instrumentarium, maar worden niet specifiek geagendeerd. Het behoeft nog een zorgvuldige afweging om te bepalen welke onderdelen van de MMIP's een meerjarige aanpak binnen Nederland vragen. Bij deze afweging dient bijvoorbeeld de huidige kennisbasis binnen Nederland en de economische impact betrokken te worden. Deze IKIA schetst per MMIP een globaal beeld van de ontwikkeling van het Nederlandse innovatie-systeem.

1.5 Proces totstandkoming IKIA Klimaatakkoord

In de eerste fase van de onderhandelingen (tot zomer 2018) hebben innovatie-experts de sectortafels ondersteund bij het benoemen van kennis- en innovatieopgaven en het opstellen van sectorale kennis- en innovatieagenda's. In het voorstel voor hoofdlijnen van een Klimaatakkoord zijn door de sectortafels dan ook voorstellen voor innovatieopgaven opgenomen.

In de tweede fase van de onderhandeling (na de zomer 2018) is door het Klimaatberaad een Taakgroep Innovatie ingesteld, onder leiding van prof. dr. ir. Tim van der Hagen. De Taakgroep stelt in opdracht van het Klimaatberaad een integrale kennis- en innovatieagenda op als onderdeel van het Klimaatakkoord, met nauwe betrokkenheid van de sectortafels. De door de sectortafels geïnventariseerde kennis- en innovatieopgaven vormen hiervoor het fundament.

Op basis van deze innovatieopgaven en de opgestelde sectorale KIA's is toegewerkt naar een integrale kennis- en innovatieagenda. Vanuit elke sectortafel heeft een vertegenwoordiger gefungeerd als innovatiedeskundige, ondersteund door het sectorale innovatie-expertteam, en verbinder naar de sectortafel.

De voorlaatste versie van deze IKIA is ter consultatie voorgelegd aan brede vertegenwoordiging van de topsectoren en kennisinstellingen. Dit diende een tweeledig doel: ten eerste het valideren van de samenhang en volledigheid, vanuit de expertise in het werkveld. Ten tweede het bepalen van de aansluiting bij bestaande kennis- en innovatieprogramma's. Naast brede omarming van de missiegedreven aanpak en belangstelling om bij te dragen aan de verdere uitwerking en programmering, zijn waardevolle suggesties gedaan voor aanscherping. Kleinere suggesties zijn verwerkt, grotere discussiepunten zijn in het laatste hoofdstuk van deze IKIA opgetekend ten behoeve van het vervolgproces.

1.6 Leeswijzer

Het vervolg van deze IKIA is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 schetst vanuit een systeemperspectief de opgave van het Klimaatakkoord, de missies die op basis van de ambities en visies van de tafels zijn geformuleerd, en een overzicht van de meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's) die hiertoe nodig worden geacht. In hoofdstuk 3 wordt per MMIP uitgewerkt welke kennis en innovaties op korte termijn moeten worden opgepakt ten behoeve van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie, en hoe Nederland hiervoor is toegerust. Tot slot markeert hoofdstuk 4 de hoofdpunten uit de consultatie ten behoeve van het vervolgproces.

2 Innovatieprogramma's vanuit maatschappelijke missies Klimaatakkoord



Zwitserse proefopstelling om CO₂ uit de lucht te filteren. Door CO₂ uit de lucht te halen en te hergebruiken kunnen zelfs negatieve emissies ontstaan.

De integrale opgave voor klimaat en energie is om in 2030 de uitstoot van broeikasgassen met 49 procent te verlagen ten opzichte van 1990 en tot vrijwel nul terug te brengen in 2050. Om deze doelstelling te kunnen realiseren zal onze maatschappij op een ongekennde wijze moeten verduurzamen. Dit is nodig in zowel industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit, landbouw en landgebruik, en de elektriciteitssector. Om deze verduurzaming te realiseren zijn innovaties noodzakelijk. Deze zijn nodig binnen de sectoren zelf en over de grens van sectoren heen.

De verduurzaming van de industrie is niet alleen nodig vanuit een klimaatperspectief maar is ook nodig om haar bestaansrecht in Nederland niet te verliezen. De procesindustrie en maakindustrie zullen nieuwe ketens gaan bouwen op basis van circulariteit en duurzaamheid, daarbij broeikasgasemissies vermijgend. Een CO₂-vrij industrieel warmtesysteem is essentieel voor de verduurzaming van de sector. Voorts is ook innovatie nodig om processen te de-carboniseren en circulair te maken, bijvoorbeeld door middel van elektrificatie en hergebruik van reststromen, onder meer door Carbon Capture and Usage (CCU). Hierbij is de extra opgave om deze technologie zover te ontwikkelen dat het kan concurreren met een op fossiele grondstoffen gebaseerde aanpak. Omdat dit niet voor alle processen haalbaar is, zal ook Carbon Capture and Storage (CCS) nodig zijn. Ook hier is innovatie voor nodig om de technologie efficiënter (goedkoper) te maken.

In de gebouwde omgeving betekent verduurzaming in de eerste plaats de ontwikkeling van renovatietechnieken die het mogelijk maken om op een industriële wijze woningen en gebouwen tenminste energiearm en waar mogelijk energie producerend te maken. Daarnaast is innovatie nodig om te warmtevoorziening te verduurzamen, dat wil zeggen aardgasvrij te maken. Deze veranderingen vragen ook om kennis en innovatie om het energiesysteem in de gebouwde omgeving aan de nieuwe situatie aan te passen. Naast deze technische innovaties is kennis nodig die zorgdraagt voor een maximale betrokkenheid en participatie van burgers. Zonder maatschappelijk draagvlak gaat de energietransitie niet slagen.

De verduurzaming in de mobiliteitssector betekent het ontwikkelen van duurzame technologie voor zowel personen als vrachtvervoer. Hierbij zijn enerzijds innovaties nodig om aandrijving van voertuigen te elektrificeren en anderzijds nieuwe, duurzame, brandstoffen voor zwaar transport. Belangrijk hierbij is ook het realiseren van een efficiënt netwerk met laadinfrastructuur, die waar nodig ook voor andere doeleinden kan worden benut. Naast deze technische aspecten zijn kennis en innovaties nodig om alternatieve en slimme nieuwe vervoer- en transportconcepten te

ontwikkelen, die naast klimaatdoelstellingen ook efficiënt zijn en tevens optimaal rekening houden met bereikbaarheid, veiligheid en comfort.

De verduurzaming van de landbouwsector vraagt in eerste instanties om innovaties die de uitstoot van broeikasgassen minimaliseren. Dit op een wijze die zorgdraagt dat de concurrentiepositie van de deze sector in stand blijft. Daarnaast is het van belang de landbouwsector te benutten voor het vastleggen van CO₂, bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van biomassa. Ook hiervoor zijn innovaties nodig. Biomassa is bijvoorbeeld een veelgevraagd emissievriendelijke grondstof voor de industrie.

De verduurzaming van de elektriciteitssector betekent een grootschalige vervanging van bestaande fossiele bronnen door hernieuwbare bronnen. Deze duurzame bronnen bestaan voornamelijk uit een zeer forse uitbreiding van windparken op zee, een uitbreiding van wind op land en een groot areaal aan zonne-energie. Voor al deze bronnen is innovatie nodig om de efficiëntie te verhogen, zodat de operationele kosten verder dalen. Het is ook nodig om kennis te ontwikkelen voor een verdere integratie van deze grootschalige opwek in de omgeving.

Nederland heeft een zeer betrouwbaar, veilig en betaalbaar energiesysteem. De borging van deze leveringszekerheid vraagt om opties, zoals versterking van de interconnectie, CO₂-vrij regelbaar vermogen (dat wil bijvoorbeeld zeggen gascentrales met CCS, biomassa voor elektriciteitsproductie, kernenergie), hybridisering van de energievraag, opslag van grote hoeveelheden energie over een langere periode (seizoensopslag) en demand-response systemen. Voor een kosten efficiënte implementatie van deze voorzieningen zijn innovaties nodig.

Om alle hiervoor genoemde veranderingen zo efficiënt en effectief mogelijk te laten verlopen, is een transitieproces nodig die werkt vanuit een systeemperspectief, waarbij maximaal de synergie wordt benut met de verduurzaming in de verschillende sectoren. De energietransitie verandert namelijk ook op revolutionaire wijze het energiesysteem. Dit systeem zal aanzienlijk complexer worden, niet alleen vanuit een technisch perspectief (infrastructuur), maar ook wat betreft besluitvorming, governance en markt en businessmodellen. Hiervoor is nieuwe kennis nodig.

De volgende paragraaf presenteert hoe deze kennis- en innovatieopgaven voortkomende uit de missies van het Klimaatakkoord worden gebundeld in dertien meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's). Deze worden vervolgens sectorgewijs toegelicht.

2.1 IKIA op hoofdlijnen

In dit hoofdstuk worden de innovatieopgaven op hoofdlijnen beschreven. Dat start vanuit de visies en ambities van de sectortafels voor 2050 en de opgave voor 2030. Die zijn in deze IKIA vertaald in sectorale missies met tussendoelen voor 2030. Om die missies te realiseren zijn de kennis- en innovatieopgaven in beeld gebracht en gebundeld tot een aantal meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's). Een overzicht van deze missies, tussendoelen en MMIP's is weergegeven in tabel 2.1. 'IKIA op hoofdlijnen'. De tabel wordt sectorgewijs toegelicht in de hierna volgende paragrafen en afgesloten met een sectoroverstijgend MMIP. Daarnaast zijn er uiteraard diverse dwarsverbanden tussen MMIP's en missies. Deze worden in de hierna volgende toelichting kort gedeut. In de uitwerking van de governance van de IKIA en de MMIP's is aandacht nodig voor de wijze waarop met deze crossovers kan worden omgegaan.

Tabel 2.1 IKIA op hoofdlijnen

Missies	Met als tussendoel(en)	MMIP's	
A. Een volledig CO ₂ -vrij elektriciteitssysteem in 2050	In 2030: - wordt er op land jaarlijks minimaal 35 TWh elektriciteit opgewekt met windenergie en zonne-energie >15kW; - wordt er minimaal 49 TWh elektriciteit opgewekt met wind op zee.	1. Hernieuwbare elektriciteit op zee 2. Hernieuwbare elektriciteits-opwekking op land en in de gebouwde omgeving	13. Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem
B. Een CO ₂ -vrije gebouwde omgeving in 2050	In 2030: - gaan 200.000 bestaande woningen/jaar van aardgas af; - zijn 1,5 mln. woningen en 15% van de u-bouw en maatschappelijk vastgoed, aardgasvrij; - wordt minimaal 20% van het lokale energiegebruik (incl. EV) binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt.	3. Versnelling energie-renovaties in de gebouwde omgeving 4. Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (incl. glastuinbouw) 5. Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht	
C. In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80% circulair	In 2030: - worden 50% minder primaire grondstoffen verbruikt; - zijn de broeikasgasemissies van productie- processen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO ₂ -equivalent; - is verduurzaming van het industriële warmte-systeem tot 300 °C bereikt; - zijn elektrificatie en CO/CO ₂ hergebruik geëffectueerd; - wordt CCS kosteneffectief ingezet; - is duurzame waterstofproductie op weg naar implementatie; - worden biogrondstoffen gezien als standaard.	6. Sluiting van industriële kringlopen 7. CO ₂ -vrij industrieel warmte-systeem 8. Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen	
D. Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050	In 2030: - zijn er 1,9 miljoen elektrische vervoers-middelen; - is 1/3 van het energieverbruik in de mobiliteit hernieuwbaar; - maken we 8 miljard minder zakelijke (auto)kilometers; - hebben minimaal de 32 grootste gemeenten zero-emissiezones voor stadslogistiek.	9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit 10. Doelmatige vervoers-bewegingen voor mensen en goederen	
E. In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaat-neutraal	In 2030: - is een extra reductie bereikt van minimaal 1 Mton CO ₂ -eq. methaan, 1 Mton CO ₂ -eq. reductie energieverbruik glastuinbouw en 1,5 Mton CO ₂ -eq. reductie door slimmer landgebruik.	11. Klimaatneutrale productie food en non-food 12. Land en water optimaal ingericht op CO ₂ vastlegging en gebruik	



2.2 Elektriciteit

Visie en ambitie 2050 en opgave 2030

Het begrenzen van de klimaatverandering vraagt, op weg naar 2050, een CO₂-vrij elektriciteitssysteem. Dat betekent dat bestaande fossiele bronnen van elektriciteit worden vervangen door hernieuwbare bronnen. Dat is al volop gaande: er worden grote windparken op zee gebouwd en burgers wekken hun eigen elektriciteit op met zonnepanelen. Deze omslag moet worden versneld en opgeschaald, ook om te kunnen voorzien in de extra behoefte aan hernieuwbaar opgewekte elektriciteit als gevolg van elektrificatie uit de sectoren mobiliteit, landbouw, gebouwde omgeving en industrie.

De opgave voor de elektriciteitssector is om in 2030 de CO₂-emissies met ten minste 20,2 Mton te verminderen.

Voor het realiseren van de hierboven genoemde missie dienen de belangrijkste knelpunten voor een succesvolle energietransitie opgelost te worden. Dit betreft:

1. Verlagen van de kosten van elektriciteit en het ontwikkelen van specifieke toepassingen;
2. Integratie van grote hoeveelheden duurzame elektriciteit in het energiesysteem;
3. Integratie van duurzame elektriciteitsproductiesystemen in de omgeving (ecologisch en ruimtelijk).

Missie en Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)



Missie A. Een volledig CO₂-vrij elektriciteitssysteem in 2050. In 2050 is de elektriciteitsproductie in Nederland volledig duurzaam. Als tussendoelen hanteert de sector dat er in 2030 op land jaarlijks minimaal 35 TWh elektriciteit wordt opgewekt met windenergie en zonne-energie >15kW; en dat er minimaal 48 TWh elektriciteit opgewekt met wind op zee. Uitgangspunten bij het realiseren van een duurzame, betrouwbare, betaalbare en toekomstbestendige elektriciteitsvoorziening zijn:

- Het beschikbaar maken en toepassen van innovaties die nodig zijn voor deze beleidsdoelen;
- Het hanteren van een integrale aanpak van technische, maatschappelijke, economische, ecologische, ruimtelijke en juridische uitdagingen.



MMIP 1. Hernieuwbare elektriciteit op zee. MMIP 1 richt zich op het mogelijk maken van de benodigde schaa sprong voor hernieuwbare elektriciteit op zee. De nadruk ligt op offshore windenergie, maar het programma is ook gericht op de ont-

wikkeling van offshore zonne-energie als oplossing met groot potentieel voor de langere termijn.

Voor een succesvolle implementatie van grootschalige offshore windenergie liggen de innovatieopgaven in het oplossen van knelpunten met betrekking tot hoge kosten, uitroltempo, offshore ruimtegebruik, veiligheid (zoals scheepvaart), ecologie en integratie van zeer grote hoeveelheden elektriciteit in het energiesysteem. Bij vraagstukken over integratie in het energiesysteem is nauwe samenwerking beoogt met MMIP 13 *Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem*. Dit betreft vooral oplossingen die een directe relatie hebben met de offshore windparken, zoals opslag en conversie van energie op zee.

Voor offshore zonnestroomsystemen ligt de uitdaging in het aantonen van de technische, ecologische en economische haalbaarheid en het ontwikkelen en testen van concepten voor drijvende installaties. Daarbij spelen de combinaties met offshore windenergie en andere functies een belangrijke rol.



MMIP 2. Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving.

Dit is een gezamenlijk programma van de sectoren Elektriciteit en Gebouwde omgeving. Wind- en zonnestroom zullen in een CO₂-vrije energiehuishouding een belangrijk deel van de - sterk toenemende - elektriciteitsvraag in alle sectoren dekken, met opwekking in de gebouwde omgeving en het buitengebied, maar ook in de infrastructuur en op binnenwateren. MMIP 2 betreft innovaties die de sterke groei van deze opwekking mogelijk maken, rekening houdend met technische, economische, maatschappelijke en ecologische factoren. Het MMIP draagt ook bij aan Missie B *Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050*, via lokale opwekking in de gebouwde omgeving. Innovaties zijn gericht op het verder verlagen van opwekkosten, op het beschikbaar maken van nieuwe toepassingen, optimaal geïntegreerd in hun omgeving (met meervoudig gebruik van de ruimte) en op integratie in het energiesysteem. Dit laatste in nauwe samenwerking met MMIP 13 *Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem*. De kennisvragen betreffen nadrukkelijk ook hoe de implementatie kan worden versneld met behoud van maatschappelijk enthousiasme en hoe circulariteit en integrale duurzaamheid kunnen worden gerealiseerd.



2.3 Gebouwde omgeving

Opgaven voor de gebouwde omgeving

- 3,4 Mton CO₂-reductie in 2030;
- 30.000 - 50.000 bestaande woningen per jaar in 2021 van het aardgas af;
- Opschaling naar een volume van 200.000 bestaande woningen van het aardgas af ver voor 2030.

Deze duidelijke doelen geven sturing aan de innovatieopgave voor de komende periode die vanuit de sectortafel Gebouwde omgeving is aangegeven. Het realiseren van de doelstellingen heeft verdragende implicaties. Acceptatie en betrokkenheid van burgers en bedrijven voor de verandering in het energiesysteem, en aanpassingen van gebouwen om dat mogelijk te maken, is cruciaal. De beoogde invulling vraagt naast technologische oplossingen ook sociaal-maatschappelijke oplossingen. Technologische innovaties zullen daarom vanuit de sociale implicaties en vraagstelling moeten worden ingestoken. Het 'aardgasvrij' maken van de gebouwde omgeving heeft niet alleen een grote impact op alle gebruikers van de gebouwde omgeving. Het heeft ook grote gevolgen voor het gehele energiesysteem zoals het balanceren van energiestromen (ook wel sector-koppeling genoemd) en optimaliseren van lokale vraag en duurzame opwekking. Ook ontwikkelingen vanuit andere sectoren hebben impact op de opgave voor de gebouwde omgeving. Denk aan Mobiliteit (ontwikkeling laadinfra + beschikbaarheid potentiële opslag), Elektriciteit (duurzame opwekking) en Industrie (benutting duurzame restwarmte en geothermie).

Missie en Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)



Missie B. Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050. Met deze missie wordt invulling gegeven aan twee maatschappelijke opgaven: ten eerste om de transitie van aardgas naar duurzame vormen van verwarming tijdig en betaalbaar vorm te geven; en ten tweede om de lokale vraag (patronen) en duurzame opwekking in evenwicht te brengen. Dit vraagt om innovaties gericht op een substantiële kostenverlaging; industrialisatie in de keten; producten en diensten die volledig aansluiten op bewoners eisen, zoals gebruikersgemak en comfort beleving; het ontsluiten van nieuwe schaalbare maatschappelijk gewaardeerde duurzame bronnen; en oplossingen voor de verwarming van woningen en gebouwen. Daarbij strevend naar een optimale inzet van lokale duurzame opwekking ter invulling van de nieuwe vraagpatronen. Invulling van deze missie vraagt om betaalbare en sociaal en maatschappelijk gedragen oplossingen gericht op een einddoel in 2050 van een CO₂-vrije gebouwde omgeving.

Op weg naar 2050 worden voor 2030 een aantal tussendoelen gesteld. In 2030 wordt gestreefd naar:

- 200.000 bestaande woningen per jaar van het aardgas af;
- 1,5 miljoen woningen en 15 procent van de utiliteitsgebouwen en maatschappelijk vastgoed aardgasvrij;
- minimaal 20 procent van het lokale energiegebruik (inclusief elektrisch vervoer) binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt.



MMIP 3. Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving. In dit programma worden innovaties ontwikkeld, waaruit nieuwe energieconcepten voor de bouw- en installatiebranche ontstaan, met een aanzienlijk lagere kostprijs dan de concepten die op dit moment op de markt beschikbaar zijn. Dit is nodig om vanaf 2025 met 200.000 energierenovaties per jaar de gebouwde omgeving in 2050 kosteneffectief aardgasvrij te maken. De resultaten dienen bij te dragen aan het terugdringen van overlast voor bewoners en daar waar mogelijk comfort en gebruikersgemak te verbeteren. Deze innovaties faciliteren ook de industrialisatie (mogelijk robotisering) van de productie-, (ver)bouw- en installatieprocessen, inzet van duurzame materialen en radicale wijzigingen in de waardeketen om de gewenste versnelling van energietransitie in de gebouwde omgeving te bewerkstelligen. Het vraagt om samenwerkingsverbanden tussen partijen die de wensen van gebruikers kunnen vertalen in productspecificaties, de bouw- en installatiesector, de toeleveringsindustrie en deskundigen die bij kunnen dragen aan het vormgeven van brede gebruikersacceptatie. Dit MMIP draagt bij aan een snelle groei van de uitvoeringscapaciteit die nodig is om de “grote verbouwing van Nederland” voor 2050 te kunnen afronden.



MMIP 4. Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw). Dit MMIP richt zich op technische en socio-economische innovatie voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen. Doel is het verbeteren van bestaande typen apparaten en systemen (beschikbaar < vijf jaar) en het ontwikkelen van nieuwe concepten (beschikbaar > vijf jaar) en bijbehorende diensten en gebruikersenthousiasme gericht op het realiseren van meerdere hoofdconcepten voor warmte en koude bij renovatie. Om gebruikers tijdig de verwarming te laten overzetten naar aardgasvrij is het noodzakelijk het aanbod af te stemmen op gebruikers, met betrekking tot omvang, comfort (geluid, thermisch), inpasbaarheid en betaalbaarheid (woonlasten). De innovaties zijn vooral gericht op toepasbaarheid in bestaande (bewoonde) situaties, een lagere integrale kostprijs op systeemniveau en tempo- en kostenverhoging naar aardgasvrije oplossingen. Het ontsluiten van nieuwe duurzame warmte (en koude) bronnen (zoals aquathermie, geothermie en thermische

zonne-energie) en thermische opslag is nodig om de sterk groeiende vraag naar duurzame warmte in te vullen.



MMIP 5. Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht.

Verbindingen tussen verwarmingssystemen, zoals warmtepompen met eigen opwekking van schone energie, met opslag in wijkbatterijen en/of elektrische voertuigen, bieden nieuwe kansen voor geïntegreerde concepten. Dit MMIP is gericht op het komen tot een geïntegreerd energiesysteem in de gebouwde omgeving met optimale afstemming van de lokale schone energievraag vanuit bedrijven en burgers (comfort, elektriciteit, warmte en mobiliteit) met een zoveel mogelijk lokaal opgewekt aanbod van duurzame energie. Dit niet alleen op jaarbasis, maar juist ook op kwartier-, uur- en dag-basis en tussen seizoenen. Dit MMIP omvat dus niet de (technische) componenten van energieopwek, -transport en -vraag. Het gaat bij dit MMIP vooral om de systeemsamenhang met deze componenten (in de gebouwde omgeving, mobiliteit en industrie). Daarnaast zijn de lokale systeemvragen relevant in relatie tot de systeemvragen bij MMIP 13. Er wordt met dit MMIP gewerkt aan de flexibiliteitscapaciteit die in 2030 nodig zal zijn. De eindgebruiker speelt een sleutelrol in dit systeem en zal hierbinnen kunnen kiezen voor een actieve (mede) sturende rol op basis van eigen behoeften en gericht op lagere kosten (zowel individueel als maatschappelijk).



2.4 Industrie

Visie en ambitie 2050, en opgave 2030

De maak- en procesindustrie zal in 2050 voldoen aan de eisen van het Klimaatakkoord van Parijs en binnen de milieugebruiksruimte werken. Zonder deze transformatie zou de industrie haar bestaansrecht in Nederland verliezen. De industrie heeft een rol om nieuwe ketens te bouwen op basis van circulariteit en klimaatneutraliteit, en daarbij broeikasgasemissies te vermijden. Voor de afvalsector is de opgave om zoveel mogelijk waarde uit afval te genereren, waarbij reststoffen grondstoffen worden en CO₂-uitstoot wordt vermeden. De opgave is om te transformeren naar een duurzame en inclusieve industrie. Deze industrie levert brede maatschappelijke welvaart, en draagt zo bij aan de kwaliteit van leven, werkgelegenheid en de concurrentiepositie van Nederland, nu en in de toekomst. De industrie maakt producten zonder CO₂-emissies en levert diensten die in de productketen of elders in het energiesysteem CO₂-emissies verlagen. In deze visie is 2030 een tussenstation met een indicatieve CO₂-reductieopgave van 14,3 Mton. De industrie gaat naar bijna nul emissie in 2050.

De ambitie voor Nederland in 2050 is een bloeiende, circulaire en mondiaal toonaangevende, concurrerende industrie, waar de emissie van broeikasgassen nagenoeg nul is. Uit reststromen, restgassen, CO₂ uit de lucht en biomassa worden grondstoffen voor onder andere de chemie en brandstof voor de lucht- of zeevaart gemaakt. Fabrieken gebruiken elektriciteit, geothermie, groen gas en waterstof voor hun energiebehoefte. Daarbij helpt de industrie om de schommelingen in elektriciteitsproductie van zon- en windparken op te vangen. Restwarmte wordt hergebruikt in de industrie of benut voor het verwarmen van woonwijken en kassen. Hierdoor, en met behulp van vergaande digitalisering, worden waardeketens en productiemethoden fundamenteel veranderd: duurzame producten komen uit duurzame processen. Bovendien levert de industrie flexibiliteit voor een duurzaam, stabiel en betrouwbaar energiesysteem, zowel voor elektriciteit als voor warmte, met een minimale impact op de leefomgeving.

Missie en Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)



Missie C. In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80 procent circulair. In 2030 worden in Nederland 50 procent minder primaire grondstoffen verbruikt en zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO₂-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt, elektrificatie en CO/CO₂ hergebruik geëffectueerd, CCS wordt kosten-

effectief ingezet, duurzame waterstofproductie is op weg naar implementatie en biograndstoffen worden gezien als de standaard.

Met deze missie wordt invulling gegeven aan de maatschappelijke vraag om ketens circulair te maken, broeikasgasemissies tot vrijwel nul of zelfs tot negatieve emissies te reduceren. Tegelijkertijd heeft de maatschappij behoefte aan klimaatneutrale materialen en producten om welvaart en welzijn te garanderen in de toekomst. De inzet van klimaatneutrale energiedragers en duurzame grondstoffen zijn essentieel om duurzame (tussen)producten en brandstoffen te kunnen leveren. Daarbij speelt recycling van materialen en de inzet van biomassa een belangrijke rol. Per proces- en productieketen verschilt het gebruik van grondstoffen en energie. Daarom zullen circulaire businessmodellen per deelsector of keten worden onderzocht en uitgewerkt. De transitie naar circulair grondstoffengebruik zal richting 2030 nog vooral via hergebruik van afval-, materiaal- en productstromen en restgassen verlopen. Waar nieuwe koolstof nodig is wordt biomassa als hoogwaardige grondstof ingezet of gebruik gemaakt van CO₂ uit de lucht.

Binnen de processen is het energiegebruik op basis van fossiele energiedragers de oorzaak van CO₂-emissies. Door efficiëntie verhoging, aanpassing van energiebronnen en hergebruik van energie worden deze emissies teruggedrongen. Daarnaast zal kosten-efficiënte CCS worden toegepast. Waar voor 2030 vooral incrementele stappen worden gezet die bestaande processen duurzamer maken, verwachten we richting 2050 vergaande proces- en productvernieuwing gericht op verduurzaming. De transitie zal steeds meer gericht zijn op grondige verandering of vernieuwing van de integrale waardeketens met nieuwe productieprocessen, hergebruik van onderdelen en producten, en het creëren van nieuwe materialen en producten, die de milieukwaliteit en de brede welvaart van mensen verbeteren.



MMIP 6. Sluiting van industriële ketens. Dit programma richt zich op duurzame vernieuwing van integrale waardeketens met nieuwe productieprocessen; op hergebruik van materialen, grondstoffen, onderdelen en producten; en op het creëren van nieuwe materialen en producten die circulariteit faciliteren. Het draagt bij aan de versnelde ontwikkeling en implementatie van innovaties, zodat waardeketens in 2050 voor tenminste 80 procent circulair zijn. In 2030 worden 50 procent minder primaire grondstoffen gebruikt. De nadruk ligt op de sluiting van de koolstofketen. Waar nieuwe koolstofhoudende grondstoffen nodig zijn kan onder andere biomassa worden ingezet. Er zijn vier programmadelen:

In (1) *Circulaire grondstoffen en producten* worden kennis en innovaties ontwikkeld voor omzetting van CO₂ en CO uit proces- en verbrandingsgassen naar grondstoffen

en producten (CCU); (plus eventueel Direct Air Capture, DAC). Daarnaast worden processen ontwikkeld voor voorbereiding en chemische recycling van afval en plastic, en voor het sluiten van de non-ferro metaalketen via karakterisering, scheiding en recycling. In (2) *biomassa gebaseerde grondstoffen en producten* worden routes voor hoogwaardige, onderscheidende inzet van biomassa onderzocht. Doel is om suppletie met 20 procent niet fossiele koolstof toepasbaar te maken voor kringloopsluiting, waar dat op een andere manier niet mogelijk is. Parallel wordt onderzoek gedaan naar (3) ontwerp van optimaal duurzame circulaire waardeketens met minimale koolstof footprint, cascadering, en nieuwe businessmodellen. Ten behoeve van het succes en de snelheid van de omwenteling is er aandacht voor maatschappelijke acceptatie, gedrag en economische inbedding. Om de CO₂-emissiereductiedoelstelling op korte termijn te kunnen halen is een vierde programma-deel gewijd aan *toepassing van CCS* (4). Hierin zijn alle activiteiten gericht op het versneld en kosteneffectief inzetten van CCS bij bestaande installaties, bijvoorbeeld bij de productie van blauwe waterstof. Onderwerpen zijn procesintegratie en optimalisatie van het afvangproces; transport, opslag en slimme monitoring, en maatschappelijke en systeemvragen.



MMIP 7. Een 100% CO₂-vrij industrieel warmtesysteem. Dit programma richt zich op ontwerp en (her)inrichting van klimaatneutrale energie- en warmtesystemen voor industriële clusters en bedrijven en optimale proces-efficiëntie. In 2050 is de warmtevoorziening voor alle temperatuurniveaus volledig CO₂-vrij. De warmtevraag is drastisch gereduceerd door de toepassing van efficiënte processen en wordt ingevuld met duurzame bronnen (duurzame elektriciteit, geothermie, biomassa en gassen). In 2030 is door power-to-heat oplossingen en inzet van duurzame warmtebronnen minimaal 5,3 Mton CO₂-emissiereductie en een energiebesparing van 93 PJ bereikt. Deze omslag is niets minder dan een revolutie. De huidige praktijk moet omgebouwd worden naar een systeem met maximale toepassing van circulaire warmte – het opwaarderen van restwarmte in plaats van emitteren naar het milieu. Tot 2030 richt innovatie zich op het versneld beschikbaar krijgen van technologie voor temperaturen tot ongeveer 300°C, zoals warmtepompen, door standaardisatie, modularisatie en ontwikkeling van projectmatige aanpak voor ontwerp en implementatie. Tegelijkertijd wordt technologie ontwikkeld die na 2030 in het hoogste temperatuursegment voor een omslag zorgt. Daarnaast wordt kennis opgebouwd voor optimale warmtebenutting in het systeem door het wegnemen van niet-technologische barrières.



MMIP 8. Maximale elektrificatie en radicaal vernieuwde processen. Dit programma is gericht op de ontwikkeling van kennis en kosteneffectieve innovaties voor volledig klimaatneutrale productieprocessen in 2050, optimaal geëlektrificeerd en volledig geïntegreerd in het duurzame energiesysteem. Industriële processen worden waar mogelijk elektrisch aangedreven, maken gebruik van klimaatneutrale (circulaire) grondstoffen en vervullen een belangrijke rol bij de levering klimaatneutrale secundaire grondstoffen, energiedragers, eindproducten, flexibiliteit en energieopslag. In 2030 is de industrie in staat het variabele vermogen aan duurzame elektriciteit volledig op te nemen. De uitdagingen zijn kostenreductie en opschaling van elektrische waterstofproductie en de ontwikkeling van klimaatneutrale brandstoffen en moleculen (in samenwerking met MMIP 11). De ontwikkeling van elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen vergroten de mogelijkheden voor elektrificatie. De combinatie met digitalisering biedt daarnaast richting 2050 kansen voor decentrale productieprocessen. Hiervoor is nieuwe kennis over veiligheid en *process control* nodig. Parallel wordt onderzoek gedaan naar maatschappelijke en systeemimplicaties van industriële elektrificatie en wordt nadrukkelijk gestuurd op radicale procesvernieuwing en disruptieve innovaties die na 2030 het verschil moeten gaan maken.



2.5 Mobiliteit

Visie en ambitie 2050 en opgave 2030

Zorgeloze mobiliteit, voor alles en iedereen, in 2050. Geen emissies, uitstekende bereikbaarheid, toegankelijk voor jong en oud, arm en rijk, valide en mindervalide. Betaalbaar, veilig, comfortabel, makkelijk én gezond. Slimme duurzame, compacte steden met optimale doorstroming van mensen en goederen. Mooie, leefbare en goed ontsloten gebieden en dorpen waarbij mobiliteit de schakel is tussen wonen, werken en vrije tijd.



Missie en Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)

Missie D. Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050. Door (1) het duurzaam inrichten van verkeer- en vervoerssystemen (verminderen en veranderen), (2) het zuiniger maken van voertuigen (verminderen) en het inzetten van hernieuwbare brandstoffen en (3) de omschakeling naar elektrische aandrijvingen waar mogelijk (vergroenen) wordt de directe CO₂-uitstoot van personenmobiliteit en goederen vervoer in 2050 tot nagenoeg nul gereduceerd. De ingezette energiedragers zijn 100 procent duurzaam geproduceerd.

Voor 2030 is het doel van een maximale CO₂-emissie door mobiliteit van 25 Mton, overeenkomend met een reductie van ongeveer 7 Mton extra ten opzichte van de huidige uitstoot. In 2030 zijn er 1,9 miljoen elektrische vervoersmiddelen en zijn alle nieuw verkopen van personenauto's elektrisch. Tevens zal in 2030 1/3 van de energiebehoefte van mobiliteit door hernieuwbare energiebronnen worden ingevuld. Ook maken we 8 miljard minder zakelijke (auto)kilometers en hebben minimaal de 32 grootste gemeenten zero-emissiezones voor stadslogistiek. Ontwikkeling van kennis en innovatie brengen realisatie van deze uitdagingen sneller en kosteneffectiever binnen bereik.



MMIP 9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit. Centraal in de vergroening van de mobiliteitssector staat de beweging naar elektrisch aangedreven voertuigen, die hun energie betrekken uit batterijen of brandstofcellen. Het kabinet streeft ernaar dat in 2030 alle nieuw verkochte personenauto's zero emissie zijn. Elektrisch vervoer leidt tot integratie van het energiesysteem en het mobiliteitssysteem via smart grids en draagt bij aan netbalanceren en transport en buffering van duurzaam opgewekte energie. Dit vraagt een goede integratie van het mobiliteits- en energiesysteem, die samenkomen in de gebouwde omgeving. Waar elektrische aandrijving in personenauto's al doorbreekt, vraagt dit in de zwaardere toepassingen (vracht, maritieme sector en luchtvaart) nog veel

innovatie op nieuwe batterijtechnologie (celtechnologie, systemen en productie), aandrijfsystemen, slimme laadinfrastructuur en de ontwikkeling van brandstofcel-elektrische toepassingen. Dit betekent tevens dat voer- en vaartuigen met verbrandingsmotoren de komende decennia nog een significant onderdeel van het mobiliteitssysteem uitmaken. Door enerzijds het ontwikkelen (in samenwerking met MMIP 8), voldoende beschikbaar maken en toepassen van hernieuwbare brandstoffen met een lage directe en indirecte CO₂-emissie, zoals biobrandstoffen en synthetische brandstoffen, en anderzijds het ontwikkelen van zuinigere verbrandingsmotoren voor nieuwe en hoge blends van (uiterlijk in 2050 voor 100 procent) hernieuwbare brandstoffen kan ook dit deel van de mobiliteit worden verduurzaamd.



MMIP 10. Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen. Een belangrijke doorbraak in het verduurzamen van mobiliteit komt door het anders en slimmer inrichten van het systeem (Mobility als a Service; MaaS). Nieuwe concepten waarbij de mobiliteitsbehoefte van personen wordt geoptimaliseerd door flexibel te switchen tussen verschillende vervoersmiddelen (lopen, (deel)fiets, OV, deelauto, (water)taxi, huurconcepten) om vlot, veilig, comfortabel, duurzaam en betaalbaar te reizen. Ontwikkelingen in de ICT en big data bieden de mogelijkheden om mobiliteit op maat aan te bieden. Innovaties, zoals zelfrijdende auto's, worden hieraan in de toekomst toegevoegd.

Ook in het goederenvervoer gaat veel veranderen. Door de uitrol van succesvolle platforms voor het uitwisselen/bundelen van lading, het inzetten van zero-emissie stadsdistributie en het ontwikkelen van een physical internet voor vracht, is het mogelijk om beladingsgraden te optimaliseren en de modal shift naar spoor of water te faciliteren. Daarnaast ontstaan alternatieve opties voor vervoer, zoals buizentransport (inclusief hergebruik van bestaande infrastructuur) en 'exotische concepten' zoals hyperloop, waardoor op termijn de snelheid en duurzaamheid van transport worden verhoogd. Concepten die mobiliteit overbodig maken behoren in de toekomst ook tot de mogelijkheden.



2.6 Landbouw en landgebruik

Visie en ambitie 2050 en opgave 2030

De sector richt zich op de opgaven binnen de Nederlandse landsgrenzen, maar heeft nadrukkelijk oog voor de ketenopgave (waarbij delen zich zullen afspelen buiten de Nederlandse landsgrenzen). Deze agenda richt zich op (directe en indirecte) vermindering van emissies, op het vergroten van negatieve emissies (vastlegging van koolstof maar ook energieopwekking in het landbouwsysteem), alsmede anticiperen op veranderend consumptiegedrag en lange termijn productiedoorbraken. De sector draagt bij aan drie ambities:

- Reductie van 49 procent in 2030 en 80 tot 95 procent in 2050 van emissies van broeikasgassen in Nederland en de bijdrage van de primaire productie daarin;
- Sterke reductie van emissies op het niveau van de gehele agrofoodketen, zowel binnen als buiten Nederland;
- Optimalisatie van productie en gebruik van biomassa, te beoordelen aan de hand van: versterking van biodiversiteit in agrarisch gebied, verbetering bodemkwaliteit en -vitaliteit, optimaal landgebruik inclusief klimaatadaptatie, minimale emissies en minimale verspilling.

Missie en Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)



Missie E. In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaatneutraal.

De reductie van broeikasgassen bij de productie van food en non-food is een enorme opgave. Het gaat hier namelijk om biologische processen, die tot onvermijdbare uitstoot leiden. Aan de andere kant zijn er in de agrarische productie ook mogelijkheden om extra koolstof vast te leggen. Om de gewenste netto reductie te kunnen realiseren is een grote inspanning nodig op kennis en innovatie.

In 2030 is een extra reductie bereikt van minimaal 1 Mton CO₂-eq. methaan, 1 Mton CO₂-eq. reductie energieverbruik glastuinbouw en 1,5 Mton CO₂-eq. reductie door slimmer landgebruik. Dit is bovenop reductie uit staand beleid, zoals geprojecteerd in de NEV 2017.



MMIP 11. Klimaatneutrale productie food en non-food. De inzet van MMIP 11 is het realiseren van de reductie van broeikasgasemissies (CO₂, methaan, en lachgas) uit de productie van food en non-food. Deze reductie komt in samenhang met en balans tussen plantaardige productie, bodem en landgebruik enerzijds en dierlijke productiesystemen anderzijds.

Voor landbouwproductie vormt de bodem de basis, met verschillende impact op het klimaat. Aan de ene kant is de bodem een emissiebron vanwege verbranding van veen in veenweide-gebieden, en lachgasproductie in combinatie met bemesting.

Aan de andere kant kan er in de bodem juist ook koolstof worden vastgelegd (zie ook MMIP 12). In dit MMIP wordt met kennis en innovatie een bijdrage geleverd aan de verlaging van de emissies en een verhoging van de vastlegging.

In de veehouderij kan reductie van emissies op twee manieren: ten eerste dieren minder methaan door pens- en darmfermentatie laten uitstoten, en ten tweede zorgen dat emissies uit de mest in stal en opslag worden verlaagd.

Voor zowel het plantaardige als het dierlijke productiesysteem moet een gezond bedrijfseconomisch model worden ontwikkeld om de bijdrage aan de klimaatdoelstelling uitvoerbaar te maken.



MMIP 12. Land en water optimaal ingericht op CO₂ vastlegging en gebruik. De vraag naar voedsel en diervoer blijft constant, maar die naar biomassa als grondstof voor materialen, biobrandstoffen en als vastlegging van koolstof in de natuur zal toenemen. Dit draagt bij aan emissiereductie in zowel landbouw als in andere sectoren. MMIP 12 gaat daarom over het verhogen van de biomassaproductie in de groene ruimte, en in de tot nu toe vrijwel onontgonnen blauwe ruimte. Daarbij speelt zeewier een grote rol, moet de efficiëntie van de fotosynthese worden verdubbeld, en legt de natuur meer koolstof vast. Deze verhoogde koolstofvastlegging gaat samen met eiwitproductie, waardoor nieuwe producten voor humane consumptie in het verschiet liggen.

Als grote randvoorwaarde geldt hierbij dat zowel producentengedrag als consumentengedrag een eminente impact hebben. Voor de producent is de missie niet alleen een energiegebruiks-reductie naar emissieloos, maar een significante opwek in 2050. Hierbij horen breed in te zetten kleinschalige na-oogst behandelingen en opwektechnologieën. Voor het consumentengedrag is de innovatieopgave hoe een halvering van de footprint door aankoopkeuzes is te bereiken, zowel voor food als voor non-food.



2.7 Systeemintegratie

Visie en ambitie 2050 en opgave 2030

Het energiesysteem zal de komende jaren een fundamentele verandering ondergaan: fossiele brandstoffen zullen stap voor stap worden vervangen door grote hoeveelheden duurzame (intermitterende) bronnen; de vraag naar energie zal gaan veranderen; de grenzen tussen energiedragers zullen vervagen; er zullen (onderling verbonden) energiesystemen ontstaan op alle schaalniveaus (woning, wijk, regio, nationaal, internationaal); en nieuwe spelers zullen in de energiemarkt hun intrede doen. Kortom het energiesysteem wordt steeds complexer. Dit betekent dat een transitieproces nodig is dat werkt vanuit een systeemperspectief. Hierbij is niet alleen de ontwikkeling van infrastructuur van belang, maar ook moet er aandacht zijn voor besluitvorming, besturingsconcepten, marktmechanismen en businessmodellen. Randvoorwaarde bij al deze veranderingen is dat de leveringszekerheid van het systeem geborgd is.

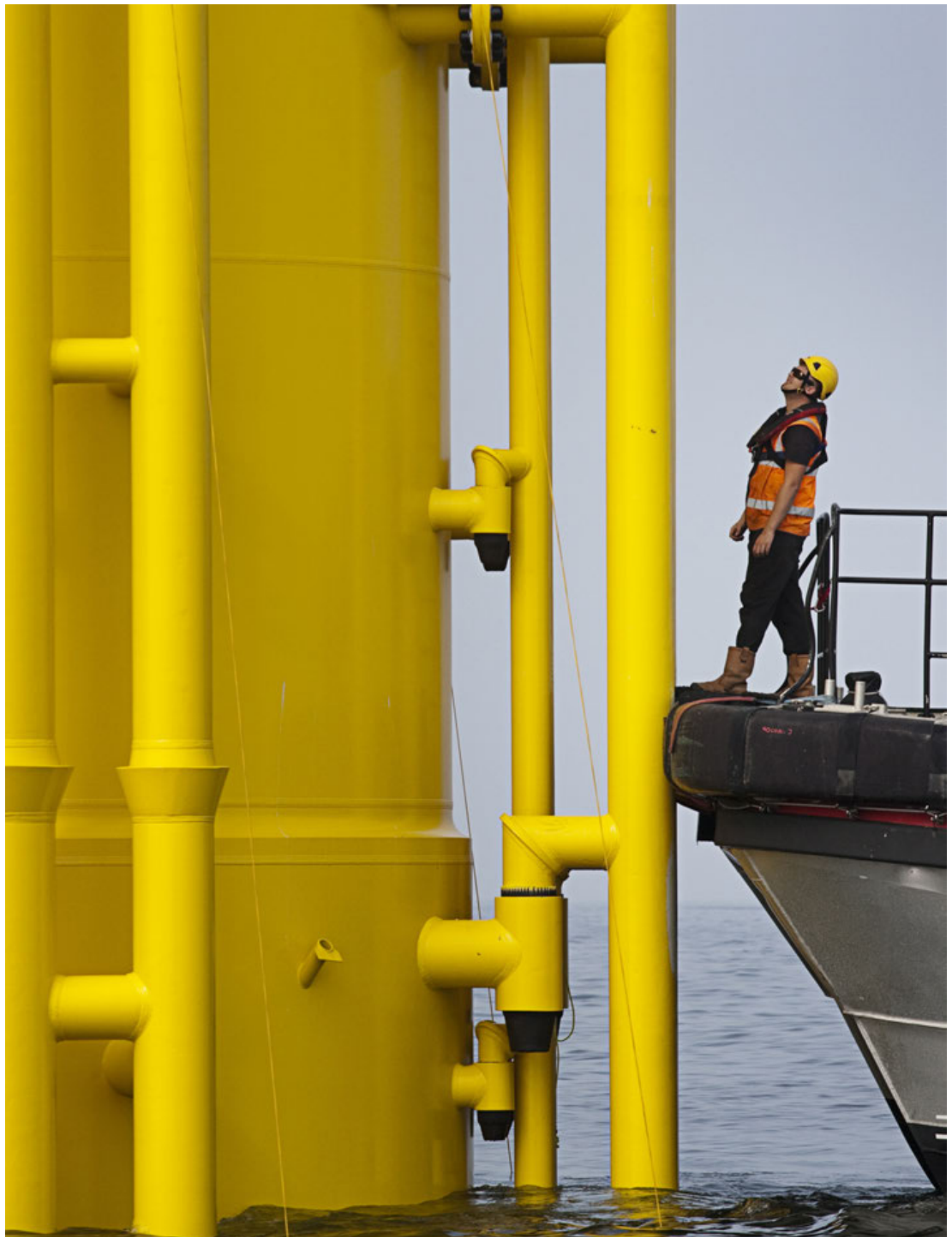
De innovatieopgaven voor systeemintegratie zijn van belang voor de missies van elke sectortafel. Er is dan ook geen separate missie geformuleerd. De innovatieopgaven richten zich vooral op de ontwikkeling van kennis en gereedschappen die nodig zijn om adequaat, hoogwaardig en efficiënt besluiten te kunnen nemen over de inrichting van de infrastructuur, marktmechanismen en flexibiliteit en voor maatregelen die zorgen dat de leveringszekerheid op het zelfde niveau blijft als vandaag.



MMIP 13. Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem. Dit MMIP richt zich op de ontwikkeling van kennis en realiseert innovaties, die een efficiënte transitie naar robuuste (leveringszekere) en maatschappelijk gedragen, geïntegreerde hybride (2030) en duurzame (2050) energiesystemen, op zowel lokale, regionale, nationale en Noordwest Europese schaal, mogelijk maken. Deze kennisontwikkeling richt zich in de eerste plaats op het gezamenlijk en adequaat nemen van besluiten, onderbouwd met hoogwaardige kennis en informatie. Ook economische aspecten spelen hierbij een rol, zoals verdienenmodellen die enerzijds zorgen voor zo laag mogelijke maatschappelijke kosten en de juiste prikkels naar energieproducenten en gebruikers, en anderzijds kansen geven aan nieuwe diensten en producten. Dit MMIP zal tevens veel aandacht besteden aan onderzoek en ontwikkeling voor een doelmatig ontwerp en beheer van kostenefficiënte geïntegreerde (multicommodity) energie infrastructuur en de rol van digitalisering hierin. Belangrijk hierbij is het creëren van voldoende flexibiliteitsopties die vraag naar en aanbod van energie (op alle relevante tijdschalen) in balans brengen, bijvoorbeeld

middels demand-side management, interconnectie en conversie en opslag van energie. Hierbij zal specifieke aandacht worden besteed aan: power-to-molecules, fysische opslagmethodes, en thermische opslag. Tenslotte zijn er uitdagingen met betrekking tot hybridiseren van grootschalige (industriële) energievragen en aanpassingen aan de transmissie- en energietransport-infrastructuur, zoals benodigde netverzwaring, flexibilisering van het gasnet en warmtetransport. Al deze veranderingen hebben impact op de leefomgeving. Daarom zal dit MMIP ook kennis en innovaties ontwikkelen die zorgen voor een efficiënte, ecologisch en landschappelijk verantwoorde ruimtelijke inpassing met een maximaal maatschappelijk draagvlak.

3 Meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's)



Inspectie van windmolen op zee. Kostenverlaging, verhogen van bouwtempo en integratie in het energiesysteem zijn enkele uitdagingen voor offshore windenergie.

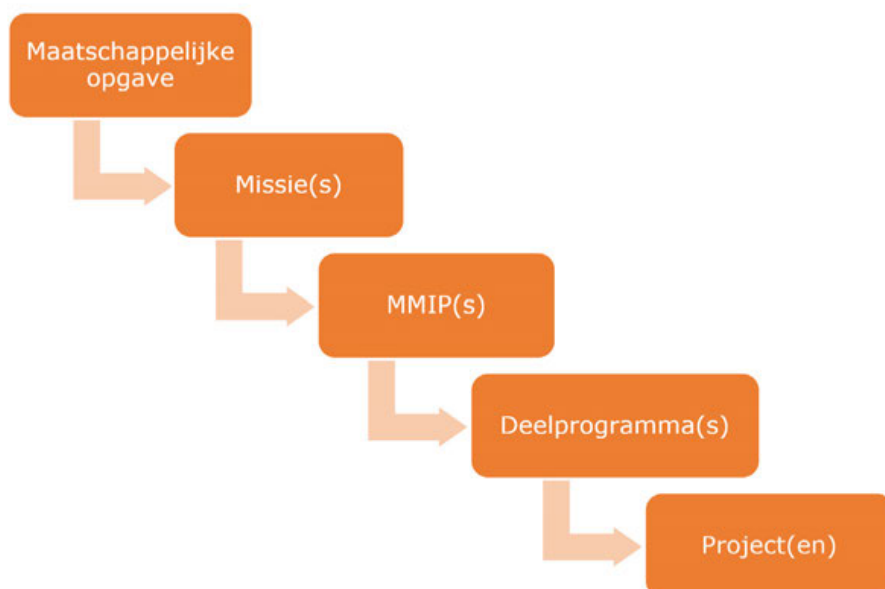
In dit hoofdstuk zijn de dertien MMIP's uitgewerkt. Ieder MMIP is gericht op een of meerdere concrete doelen. Van hieruit worden alle relevante activiteiten en innovaties benoemd die samenhangend nodig zijn om de doelen te kunnen realiseren. Daarmee draagt het MMIP met het bereiken van het gestelde doel ook bij aan het realiseren van de gestelde missie. De gestelde doelen van een MMIP kunnen bereikt worden door specifieke 'deelprogramma's' en 'projecten'.

Een deelprogramma is een samenhangend innovatietraject op een deelonderwerp binnen een MMIP (een bundel van projecten). Ook een deelprogramma kent een concreet en tijdsgebonden doel, waarbinnen meerdere partijen over de verschillende fases in het innovatieproces samenwerken om dat doel te realiseren. Met een samenhangende en meerjarige aanpak kan dat doel effectief worden bereikt. Deelprogramma's passen binnen de MMIP's en dragen bij aan het realiseren van het gestelde doel van het MMIP. Deelprogramma's hebben altijd een meerjarig karakter en partijen/consortia verbinden zich daarbinnen tot de uitvoering van het gehele programma. Dit vereist een meerjarig commitment en passende financiering en instrumenten om dit te faciliteren. Er zijn ook deelprogramma's die meerdere MMIP's kunnen bedienen ('crossovers').

Projecten bestaan uit samenhangende activiteiten gericht op een deelaspect binnen het MMIP, die als op zichzelf staande projecten bij kunnen dragen aan de missie. Ze kunnen ondersteunend zijn aan een overall programma en/of deelprogramma, maar vereisen niet meerjarig commitment van partijen aan het grotere geheel van een deelprogramma. Dit past uitstekend in de huidige tendersystematiek.

In figuur 3.1 is schematisch de route van maatschappelijke opgave (hoog abstractieniveau) tot en met innovatieproject (laag abstractieniveau) weergegeven. Deze IKIA werkt de innovatieopgaven binnen de MMIP's uit tot en met het benoemen van de deelprogramma's.

Figuur 3.1 De route van maatschappelijke opgave naar innovatieprojecten



Een doelgericht en toekomstbestendig innovatieprogramma voor de energietransitie wordt verder gekenmerkt door een goede balans tussen aandacht voor de korte termijn (ontwikkeling, demonstratie en uitrol) en voor de middellange en lange termijn (onderzoek en ontwikkeling). Daarmee wordt het halen van de 2030 doelen mogelijk gemaakt en tegelijkertijd de noodzakelijke basis gelegd voor het halen van de 2050 doelen. In de uitwerking van de MMIP's wordt dit zichtbaar gemaakt in tabellen waarin voor elk deelprogramma een indicatie van de innovatieopgaven per fase van de innovatieketen wordt gegeven voor de komende vijf jaren.

De hiernavolgende matrix presenteert een overzicht van alle missies, MMIP's en de deelprogramma's die zijn voorzien. De matrix wordt in de hiernavolgende paragrafen toegelicht. Bij de uitwerking van de MMIP's wordt verder ingegaan op de positionering: sectoren die het betreft, sterktes en zwaktes van de kennispositie en de positie van het bedrijfsleven, samenhang met (inter)nationale agenda's, internationale strategie, het innovatiesysteem en consortiumvorming.

De uitwerking in deze IKIA van elk MMIP betreft de hoofdlijnen. Bij de doorvertaling in 2019 van de IKIA en specifiek de MMIP's naar de verschillende programmeringen voor de periode 2020-2023, vindt er een nadere uitwerking plaats van de benodigde innovatieopgaven en activiteiten per MMIP in de tijd. Dit stelt de betrokken partijen in staat om bij deze doorwerking naar programmering tot een gedetailleerdere aanpak te komen.

IKIA Klimaatakkoord

Missies	A Een volledig CO ₂ -vrij elektriciteitssysteem in 2050	B Een CO ₂ -vrije gebouwde omgeving in 2050
Met als tussendoel(en)	In 2030: • wordt er op land jaarlijks minimaal 35 TWh elektriciteit opgewekt met windenergie en zonne-energie > 15 kW; • wordt er minimaal 49 TWh elektriciteit opgewekt met wind op zee.	In 2030: • gaan 200.000 bestaande woningen/jaar van aardgas af; • zijn 1,5 mln woningen en 15% van de u-bouw en maatschappelijk vastgoed, aardgasvrij; • wordt minimaal 20% van het lokale energiegebruik (incl. EV) binnen de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt.
MMIP's Meerjarige Missiegedreven InnovatieProgramma's en deelprogramma's	1 Hernieuwbare elektriciteit op zee	3 Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving
	2 Hernieuwbare elektriciteits-opwekking op land en in de gebouwde omgeving	4 Duurzame warmte (en koude) in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)
	13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem	5 Het nieuwe energiesysteem in de gebouwde omgeving in evenwicht

IKIA Klimaatakkoord

C In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80% circulair	D Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050	E In 2050 is het systeem van landbouw en natuur netto klimaatneutraal
In 2030: • worden 50% minder primaire grondstoffen verbruikt; • zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO₂ equivalent; • is verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300°C bereikt; • zijn elektrificatie en CO/CO₂ hergebruik geëffectueerd; • wordt CCS kosteneffectief ingezet; • is duurzame waterstofproductie op weg naar implementatie; • worden biograndstoffen gezien als standaard.	In 2030: • zijn er 1,9 miljoen elektrische vervoersmiddelen; • is 1/3 van het energieverbruik in de mobiliteit hernieuwbaar; • maken we 8 miljard minder zakelijke (auto)kilometers; • hebben minimaal de 32 grootste gemeenten zero-emissiezones voor stadslogistiek.	In 2030: • is een extra reductie bereikt van minimaal 1 Mton CO₂eq. methaan, 1 Mton CO₂eq. reductie energieverbruik glastuinbouw en 1,5 Mton CO₂eq. reductie door slimmer landgebruik.
6 Sluiting van industriële kringlopen • Circulaire grondstoffen en producten • Biobased grondstoffen en producten • Ontwerp en inbedding van nieuwe circulaire ketens • Toepassing CCS en maatschappelijke acceptatie	9 Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit • Zero-emissie aandrijftechnologie en voertuigen • Energiedistributie voor elektrische voertuigen • Distributie van waterstof en andere energiedragers voor brandstofcelvoertuigen • Innovatieve hernieuwbare brandstoffen • Zuinige voertuigen	11 Klimaatneutrale productie food en non-food • Reductie methaanemissies door pens- en darmfermentatie • Reductie emissies uit stal en mestopslag • Koolstofvastlegging en vermindering emissies landbouwbodems en bemesting • Vermindering emissies veenweidegebieden
7 CO₂-vrij industrieel warmtesysteem • Warmtehergebruik, -opwaarding en opslag • Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie • Toepassing klimaatneutrale brandstoffen • Systeemconcepten voor warmte en koude • Maximalisering van proces-efficiency		
8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen • Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen • Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen • Flexibilisering en digitalisering • Radicaal vernieuwde processen • Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie	10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen • Weten wat mensen beweegt • CO₂-reductie door nieuwe mobiliteitsconcepten voor personenvervoer • CO₂-reductie door innovaties in logistiek • Transitie-ondersteunende kennis en tools	12 Land en water optimaal ingericht op CO₂ vastlegging en gebruik • Zeewiervredeling, -teelt en na-oogst • Verdubbelde fotosynthese • Eiwit voor humane consumptie • Klimaatbehoudende natuur • Klimaatvriendelijke keuze bij aanschaf producten • Gezonde voedselkeuze • Gebruiksreductie naar nulmissie
13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem • Samen fact-based beslissen en vormgeven, inclusief verdienmodellen • Ruimtelijke inpassing • Inrichting infrastructuur, flexibiliteit, marktmechanismen en digitalisering • Power-to-molecules • Grootchalige energieopslag, energie transport en hybridisering energievraag		

3.1 MMIP 1. Hernieuwbare elektriciteit op zee

Missie

Een volledig CO₂-vrij elektriciteitssysteem in 2050. De ontwikkeling van tussen de 11,5 GW (50 TWh) en 18,6 GW (80 TWh) aan windenergie op zee in 2030 en tussen de 35 GW (150 TWh) en 75 GW (320 TWh) aan hernieuwbare energie op zee in 2050, tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten (productiekosten tussen de 30 en 40 €/MWh in 2030 en significant lager in 2050).

3.1.1 Wat beoogt dit MMIP?

Dit MMIP richt zich op het mogelijk maken van de benodigde schaa sprong voor offshore duurzame energie, vooral offshore windenergie, maar voor de langere termijn ook op offshore zonne-energie. Offshore zonne-energie heeft een groot potentieel en staat aan het begin van zijn ontwikkeling waarbij R&D zich vooral richt op technische en economische haalbaarheid.

Voor offshore wind is het evident dat de benodigde schaa sprong met de huidige stand van de techniek niet zonder meer mogelijk is. De opschaling loopt tegen knelpunten aan, zoals hoge kosten, uitroltempo, offshore ruimtegebruik en veiligheid (zoals scheepvaart), ecologie en integratie van zeer grote hoeveelheden elektriciteit in het energiesysteem, waaronder het realiseren van een hub voor het verbinden van offshore windparken. De innovatieopgave van dit MMIP ligt in het oplossen van die knelpunten door middel van drie thema's:

1. Kostenreductie en optimalisatie (veilig en betaalbaar opschalen)
2. Integratie in het energiesysteem (waaronder opslag en conversie)
3. Integratie in de omgeving (ecologie en multi-use)

Het MMIP richt zich met deze thema's op technische, sociale, ruimtelijke, ecologische, economische en institutionele veranderingsvraagstukken op alle *technology readiness levels* (TRL's). Voor de korte termijn (resultaten binnen 5 jaar) ligt de nadruk vooral op het beschikbaar krijgen van slimme, incrementele innovaties voor versnelling, acceptatie en veiligheid. Voor de middellange termijn (resultaten beschikbaar in de periode tot 2030) zijn ook grotere, meer radicale innovaties nodig voor verdere kostenreductie en de inpasbaarheid in het energiesysteem en omgeving, zoals het verhogen van de capaciteitsfactoren van windparken, nieuwe fundatietechnologie, digitalisering en robotisering van installatie en onderhoud. Voor de langere termijn (technologie beschikbaar na 2030) worden mogelijke doorbraken onderzocht, zoals off-grid windparken, airborne wind, offshore zonne-energie en ocean energy.

Doelstellingen van dit MMIP

- Kostenreductie van de productiekosten naar een niveau van 30-40 €/MWh in 2030;
- Schaalsprong naar tussen de 11,5 GW en 18,6 GW in 2030 en ±60 GW in 2050;
- Het mogelijk maken van een installatietempo van 2-3 GW per jaar;
- Het integreren van zeer grote hoeveelheden offshore energie in het energiesysteem.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.1.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

1.1 Kostenreductie en optimalisatie			
Ondanks de recente kostendaling voor wind op zee, blijft inzet op kostenreductie door innovatie noodzakelijk met het oog op het verder verlagen van de maatschappelijke kosten, nieuwe locaties en risico's van grondstoffenprijzen en rente. Daarnaast zullen de inpassing in het energiesysteem extra kosten met zich meebrengen. Optimalisatie in windturbines, fundaties, kabels, installatiewerk en onderhoud is noodzakelijk om op maatschappelijk verantwoorde wijze de benodigde schaa sprong te kunnen maken naar de 60 GW in 2050 en een installatietempo van 2-3 GW per jaar. Innovatie richt zich op optimalisatie en versnelling en ook op robotisering, digitalisering, circulariteit, nieuwe technologie en materialen. R&D van offshore zonnestroomsystemen zal zich de komende jaren vooral richten op het aantonen van de technische en economische haalbaarheid.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Windklimaat en zog-effecten (meten, modelleren, voorspellen); - Verhogen levensduur door ontwikkeling van kennis over degradatieprocessen en gebruik van nieuwe materialen; - Kosten- en risicoverlaging door toepassing ICT, IoT, en robotisering; - Theorie van aerodynamica van grote rotoren op grote hoogte.	- Verlagen kosten door verbeteringen in locatieonderzoek en modellering van locatiegegevens, zoals wind, golven, getijden en bodem; - Doorontwikkeling van de monopile technologie; - Nieuwe fundatie concepten (waaronder drijvende fundaties) en verbeterde verbindingstechnieken; - Beschermingssystemen; - Nieuwe materialen; - Innovatie van windturbine-componenten; - Ontwikkeling van de next generation windturbine technologie (o.a. 15MW+, multi-rotor, VAWT, airborne); - Sensor, communicatie en besturingssystemen (boven/onder water); - Toepassing ICT voor beveiliging en cybersecurity; - Robotisering; - Single-lift installatie; - Optimalisatie en kostenreductie O&M en installatie; - Ontwikkeling technische en economische haalbaarheid van drijvende zonneenergie.	- Optimalisatie van het ontwerp van windturbines, parken en clusters; - Verhogen beschikbaarheid en capaciteit en verlagen kosten van het aansluitnetwerk; - Efficiency schepen, methoden en tools voor installatie, onderhoud en verwijdering; - Demonstratie van de next generation windturbine technologie (o.a. 15MW+, multi-rotor, VAWT, airborne); - Demonstratie technische en economische haalbaarheid van drijvende zonne-energie.	- Life cycle design en circulariteit inclusief maatschappelijke aspecten (grondstoffen); - Verbeteringen (integrale) ontwerpmethoden en tools; - Implementatie van nieuwe fundatietechnologie en verbindingstechnieken; - Health monitoring; - Optimalisatie van leveringsketen, contracting en risicoallocatie; - Optimalisatie van onderhoud en logistiek; - Verbeteren van de veiligheid en crew performance; - Monitoring van opbrengsten en kosten; - Industrialisatie en standaardisatie.

1.2 Integratie offshore energie in het energiesysteem

De doelstelling van dit deel van het programma is het ontwikkelen van nieuwe componenten, producten, tools en diensten die het integreren van zeer grote hoeveelheden offshore energie in het energiesysteem mogelijk maken tegen lage maatschappelijke kosten. Hierbij spelen zowel transport van energie, opslag en conversie, digitalisering als het afstemmen van vraag en aanbod een rol. De horizon voor implementatie van innovaties ligt tussen 2020 en 2040.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Kennisontwikkeling marktmechanismen in relatie tot integratie van grote hoeveelheden offshore energie; - Model voor flexibiliteitoplossingen dat aanbod en productie met vraag, opslag en conversie combineert; - Onderzoek hindernissen op gebied van Europese en Nationale regelgeving.	- Onderzoek naar toepassingen en kostenreductie van HVDC netwerken; - Verbeteren balancering dmv monitoring en voorspellen van vraag en aanbod en ketenintegratie; - Mogelijkheden van netondersteunende diensten; - Offshore grid ontwikkelingen voor combinaties van opwekking, interconnectie en offshore verbruik; - Offshore energieopslag en conversie oplossingen, stand-alone en geïntegreerd in windturbine technologie; - Offshore windparken zonder aansluiting op een net; - Geïntegreerde energie-eiland concepten.	- Offshore energieopslag en conversie oplossingen, stand-alone en geïntegreerd in windturbine technologie; - Offshore windparken zonder aansluiting op een net; - Geïntegreerde energie-eiland concepten.	- Industrialisatie van systemen voor opslag en conversie; - Visie en advisering voor wijzigingen in markt en regelgeving inclusief internationale raakvlakken.

1.3 Offshore energie en de omgeving

Dit deel van het programma heeft als doel de ambitie ruimtelijk mogelijk te maken, door onderzoek naar de interactie tussen technologie en ecologie. Innovaties op het gebied van meervoudig ruimtegebruik dragen bij tot een betere benutting van de ruimte op de Noordzee. Slimme combinaties van offshore zon- en windparken bieden ook nieuwe kansen voor opschaling.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek naar het technische en economische potentieel van meervoudig ruimtegebruik, de risico's en de benodigde organisatorische en technische integratie; - Ecologisch onderzoek naar voorkomen en gedrag van soorten, keteneffecten.	- De ontwikkeling van samenwerkingsmodellen tussen offshore windparken en andere gebruikers van de Noordzee om het ruimtegebruik te optimaliseren. Voorbeelden hiervan zijn visserij, kweek van schelpdieren, vis, zeewier, algen, toerisme, olie & gas en scheepvaart; - Het verlagen van de CO₂ life cycle footprint van offshore windparken; - Ecologisch onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van oplossingen voor mitigatie van negatieve en het versterken van positieve interactie met de ecologie (windenergie en drijvende zonneparken).	- Het uitvoeren van offshore multi-use pilots (field labs) waarin samenwerking wordt gedemonstreerd, inclusief de integratie van drijvende zonne-energiesystemen.	-

3.1.2 Positionering van dit MMIP

Sectoren

Dit MMIP vormt samen met het MMIP 'Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving' en het MMIP 'Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem' de innovatiebasis voor grootschalige hernieuwbare elektriciteitsopwekking en bedient vandaaruit via elektrificatie de sectoren Gebouwde omgeving (GO), Industrie, Mobiliteit, Landbouw & landgebruik. De vraagkant uit die sectoren bepalen in grote mate het benodigde volume, de prijs, de locatie en de timing van de elektriciteitsproductie.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

De maritieme en offshore-industrie (inclusief de havens) blinken uit door jarenlange ervaring in civieltechnische- en energieprojecten in de delta en op zee. Hoogstaande kennis op het gebied van materialen, elektrotechniek, maritieme en civiele techniek, digitalisering en robotisering maken de uitvoering van dit deel van het

MMIP mogelijk. Ook heeft Nederland een sterke kennispositie in de windturbine-techniek. Offshore opslag en conversie van energie, nieuwe transporttechnologie, off-grid offshore windparken en ketenintegratie met de gebruikers van duurzame energie bieden nieuwe kansen in een internationale markt.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Tabel 3.1.2. Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's.

Programma	Doelstelling
TKI Wind op Zee 2018-2019	Faciliteren van offshore wind onderzoek gericht op een succesvolle energietransitie. Het programma adresseert de thema's kostenreductie en optimalisatie, integratie in het energiesysteem en de omgevings- en ecologische aspecten;
NWO Topsector Energie 2018-2019	NWO-onderzoeksprogrammering gericht op de wetenschappelijke basis voor een succesvolle uitvoering van de Energieagenda;
Chemistry of Advanced Materials	Programma gericht op innovatief gebruik van nieuwe materialen (TKI Chemie);
ETIP Wind 2018	Strategic R&D agenda 2018, integration of renewables in the grid, increase the reliability and quality of power production and reduce the costs of wind energy;
EU (o.a. H2020, SET Plan)	Secure, Clean and Efficient Energy programma onder andere gericht op offshore energy;
EAW	Het benoemen van de belangrijke lange termijn onderzoeksthema's.

Strategie internationaal

Offshore windenergie, met de wortels in Noordwest-Europa, groeit uit naar een wereldwijd speelveld. Nederland speelt een belangrijke rol in de industrie en in het onderzoek, vooral op het vlak van maritieme en offshore technologie en diensten, maar ook op het gebied van windturbine componenten. Internationale samenwerking in onderzoek gebeurt op grote schaal in de sfeer van pre-competitieve samenwerking en bij productontwikkeling. Er liggen veel kansen voor Nederland en de inzet op kostenreductie en optimalisatie van offshore zon- en windparken draagt niet alleen direct bij aan de energietransitie, maar ook aan een versteviging van de exportpositie. Internationale samenwerking (R&D, demonstratie) binnen Europa (in het bijzonder de Noordzeelanden) en in toenemende mate daarbuiten, maakt het mogelijk dat innovaties sneller naar de markt kunnen. Het MMIP heeft uitdrukkelijk het doel de internationale mogelijkheden te benutten (make or buy) en te versterken.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Voor dit MMIP is een open innovatiesysteem van belang waarin kennis en nieuwe producten worden ontwikkeld met mogelijkheden voor proeftuinen en samenwerking in de keten. Een succesvol innovatiesysteem omvat een aantal functies waaronder kennisontwikkeling, -uitwisseling en ondernemersactiviteiten. Ook het creëren van marktvoorwaarden en het organiseren van de innovatieagenda met de benodigde middelen is van belang. De Topsector Energie en het TKI Wind op Zee hebben over de afgelopen jaren een stevige basis gelegd met een goed ontwikkelde community van bedrijven en kennisinstellingen. Ook startups en MKB-bedrijven zijn betrokken (Offshore Wind Innovators). Het TKI is actief in consortiumvorming op kleine en grote schaal (o.a. het GROW samenwerkingsprogramma). De samenwerking bestaat uit gezamenlijke kennisontwikkeling (Joint Research), technologieontwikkeling en maatschappelijke innovatie (North Sea Energy Lab). Voor de verdere ontwikkeling van het innovatiesysteem is een verbreding nodig op systeeminTEGRATIE en een verdieping op ecologie. Voor de uitvoering van het MMIP worden op specifieke deelprogramma's consortia aangetrokken, die waar nodig samenwerken met internationale programma's. Door het bij elkaar brengen van Nederlandse offshore en zonne-energie kennis ontstaan kansen om duurzame elektriciteit op te wekken en economische waarde te creëren.

3.2 MMIP 2. Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving

Missie

Het realiseren van een CO₂-emissieloos elektriciteitssysteem in 2050. Als tussenstap wordt in 2030 op land jaarlijks minimaal 35 TWh opgewekt met behulp van een combinatie van windenergie en zonne-energie >15kW. Opwekking vindt plaats tegen zo laag mogelijke kosten (30 tot 60 €/MWh in 2030, afhankelijk van projecttype en -grootte, met perspectief op 20 €/MWh in 2050), maar met de randvoorwaarde van optimale ruimtelijke en functionele integratie.

3.2.1 Wat beoogt dit MMIP?

Dit MMIP richt zich op de innovaties die nodig zijn om sterke groei van hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land mogelijk te maken, rekening houdend met technische, economische, maatschappelijke en ecologische factoren en met de integratie in het energiesysteem. Oplossingen die op dit moment beschikbaar zijn voldoen nog niet aan alle eisen om de missiedoelen voor 2030 en 2050 te realiseren. Opwekking op land vindt vooral plaats met zonne-energie (zonnestroom, PV) en windenergie, in de gebouwde omgeving en in het buitengebied, maar ook in de infrastructuur en op binnenwateren. De innovatiegebieden omvatten onderwerpen en ontwikkelingen voor korte en langere termijn en zowel lage als hoge TRL's. Voor de korte termijn gaat het met name om het mogelijk maken van versnelde implementatie en om ruimtelijke integratie, voor de langere termijn om meer fundamentele vernieuwingen die nodig zijn voor economisch, maatschappelijk en ecologisch verantwoorde grootschalige toepassing van wind- en zonne-energie. Deze innovaties bieden ook kansen over de hele waardeketen voor het Nederlandse bedrijfsleven, dat op onderdelen internationaal nu al een vooraanstaande rol speelt.

Doelstellingen van dit MMIP

Doel is om innovatieve oplossingen beschikbaar te maken die grootschalige opwekking van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen op land combineren met behoud of zelfs versterking van andere waarden en functies zoals de kwaliteit van de leefomgeving, natuur en recreatie, land- en tuinbouw en transport en mobiliteit. Om dit te bereiken moet het volgende gebeuren:

1. Verlagen van opwekkosten (zie Missie);
2. Beschikbaar maken van nieuwe toepassingen, optimaal geïntegreerd in hun omgeving;

3. Versnellen van implementatie met behoud van maatschappelijk enthousiasme;
4. Realiseren en borgen van integrale duurzaamheid;
5. Integreren in het energiesysteem, in nauwe samenwerking met het MMIP 'Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem'.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.2.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

2.1 Verlaging van opwekkosten Opwekkosten zijn de afgelopen tijd sterk gedaald, maar voor grootschalige toepassing is verdere verlaging cruciaal om de maatschappelijke kosten te minimaliseren, om minder gunstige locaties en nieuwe (met name geïntegreerde) toepassingen rendabel te kunnen benutten, en om de (extra) kosten voor integratie in het energiesysteem te accommoderen.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Verhogen energieopbrengst (rendement, opbrengstfactor, levensduur); - Nieuwe conversieconcepten (bijv. ultrahoogrendement zonnecellen en air-borne windenergie); - Zonneliefes; - Nieuwe materialen; - Modelleren en voorspelling.	- Verlagen van de kostprijs van systeemcomponenten en geïntegreerde systemen; - Verhogen van de energieopbrengst van componenten en systemen (ontwerp, schaduwtolerantie, etc.); - Verhogen van de betrouwbaarheid.	- Technische en economische haalbaarheid van nieuwe systeemcomponenten en geïntegreerde systemen; - Energieopbrengst en betrouwbaarheid onder praktijkcondities.	- Verlagen van de kosten voor projectontwikkeling, installatie, bedrijf, onderhoud en ontmanteling; - Verlagen van projectrisico's; - Kwaliteitsborging; - Optimalisatie netaansluiting; - Monitoring van opbrengsten en kosten.
2.2 Nieuwe toepassingen, optimaal geïntegreerd Grootschalige elektriciteitsopwekking op land uit hernieuwbare bronnen vraagt ruimtelijke integratie, functiecombinatie en nieuwe soorten systemen en toepassingen. Innovatie en schaal-effecten moeten kostenverschillen met standaardoplossingen minimaliseren. Door waarde toe te kennen aan de overige functies worden de netto kosten verlaagd.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Functie-integratie van elektriciteitsopwekking met andere functies; - Optimaliseren en benutten van ecologische effecten; - Zonnestroomproducerende ramen; - Zonneliefes en conformal PV; - Vrijheid in vorm en kleur/patroon; - Technologieconcepten voor mass customization.	- Functionele en esthetische integratie in gebouwen, infrastructuur, voertuigen en buitengebied; - Combinaties met andere functies (natuurbeheer, recreatie, agrarisch, waterberging, etc.); - Drijvende PV-systemen.	- Functionele en/of esthetische kwaliteiten van nieuwe, geïntegreerde systemen en toepassingen; - Integrale haalbaarheid van combinaties van opwekking met andere functies zoals natuurbeheer, recreatie, agrarisch en waterberging; - Technische en economische haalbaarheid van drijvende PV-systemen.	- Creëren van marktkansen voor grootschalige gebruik van nieuwe toepassingen. - Combinaties van wind en zon; - Businessmodellen en juridische kaders voor functiecombinaties; - Industrialisatie en integratie in het (ver)bouwproces Industry 4.0 fabricage.

2.3 Versnelling met maatschappelijk enthousiasme

Snelle en grootschalige toepassing van wind- en zonne-energie vraagt een integrale aanpak waarin kosten, ruimtelijke, ecologische en maatschappelijke aspecten, opties, beleidskaders, business cases en andere aspecten in samenhang worden afgewogen en geoptimaliseerd.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Afwegingskaders en implementatie-modellen; - Ecosysteemservices (Interactie tussen) beleid, business cases en gedrag.	- Innovatieve participatie- en samenwerkingsmodellen; - Appreciatie en evaluatie; - Energielandschapontwerp; - Geluidsarme windturbines.	- Effectiviteit van innovatieve participatie- en samenwerkingsmodellen; - Praktijkvoorbeelden van energielandschapontwerp; - Effectiviteit voor de omgeving van geluidsarme windturbines.	- Oplossingen voor Regionale Energie Strategieën (RES); - Esthetische aantrekkelijke systemen en toepassingen; - Kleinere en geluidsarme windturbines; - Nieuwe businessmodellen.

2.4 Integrale duurzaamheid

Van hernieuwbaar naar volledig duurzaam. Oplossingen die (bij voorkeur) niet ten koste gaan van innovatieresultaten op het gebied van kostenverlaging en prestatieverbetering.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Nieuwe materialen en ontwerpconcepten: 'design for sustainability'; - Milieu-impactanalyse en -optimalisatie op project- en gebiedsniveau; - Kwantificeren van ecologische effecten.	- Optimaliseren en benutten van ecologische effecten; - Vermindering van de impact op vogels en vleermuizen; - Materialen en ontwerpconcepten voor recycling.	- Ecologische waardecreatie door aangepast/ geoptimaliseerd systeem- en projectontwerp en -beheer; - Effectiviteit van laag-impact turbine- of parkontwerpen (vogels en vleermuizen); - Technisch en economische haalbaarheid van duurzame materiaalkeuzes en recycling.	- Monitoring van impact op ecologie, milieu en mensenrechten (o.m. arbeidsomstandigheden over gehele supply chain) en terugkoppeling naar RES en plannen; - Ontwikkeling van ecolabeling en andere vormen van kwaliteitslabeling.

2.5 Integratie in het energiesysteem

Benodigde innovaties worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met MMIP 13: Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem, waarbij in dit MMIP de nadruk ligt op innovaties die direct samenhangen met de opwekking met wind- en zonne-energiesystemen (d.w.z. op lokale maatregelen).

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Conversie (Power-to-X); - Opslag (klein en middelgroot, diverse tijdschalen).	- Vraag- en aanbodsturing; - Gebruik van ICT en big data voor o.m. opbrengstvoorspelling op verschillende tijdschalen en monitoring.	- Technische en economische haalbaarheid van diverse vormen van vraag- en aanbodsturing; - Nauwkeurigheid en waarde van opbrengstvoorspelling (forecasting).	- Locatiekeuze en -optimalisatie; - Combinaties van zon en wind; - Optimalisatie van netinfrastructuur; - Levering van ancillary (net)services.

3.2.2 Positionering MMIP

Sectoren

Dit MMIP vormt samen met ‘Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op zee’ de innovatiebasis voor grootschalige hernieuwbare elektriciteitsopwekking en bedient vandaaruit via elektrificatie de sectoren Gebouwde omgeving (GO), Industrie, Mobiliteit en Landbouw & landgebruik.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Het Nederlandse bedrijfsleven op het werkgebied van dit MMIP en daarbinnen met name zonne-energie, kan grofweg worden verdeeld in ‘upstream’ (materialen, productietechnologie, fabricage van componenten) en ‘downstream’ (systemen, projectontwikkeling, financiering, verzekering, installatie, beheer en onderhoud, etc.). Het upstream bedrijfsleven bekleedt sinds de jaren '80 een technologisch vooraanstaande (export)positie in de wereld. Het werkt nauw samen met de kennisinstellingen en concentreert zich vooral op het high end deel van de technologie en op nieuwe en geïntegreerde toepassingen. Dit laatste sluit direct aan bij het innovatiegerichte downstream deel van de sector: ons land is pionier op het gebied van integratie in gebouwen en infrastructuur, zonnestroomsystemen op water, design-PV en andere nieuwe toepassingen. Een zwakte van de sector is de beperkte thuismarkt (= NL + EU) op dit moment. Het ontwikkelen van een substantiële en robuust groeiende markt is van groot belang om private investeringen, ook in innovatie, te stimuleren. Op het gebied van windenergie betreffen sterktes van kennisinstellingen en bedrijfsleven onder meer mogelijkheden voor geluidsreductie en maatschappelijke aspecten van toepassing (zoals participatie en draagvlak).

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Tabel 3.2.2 Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's.

Programma/ agenda	Thema's
TKI Urban Energy	Programmalijnen "Zonnestroomsysteemcomponenten" en "Integratie van energie-innovaties in de bouw";
NWO	Hoogrendement zon-PV, (enablers voor) nieuwe toepassingen;
NWA	Multidisciplinaire en -dimensionele aanpak energietransitie, link tussen dit MMIP en de NWA-route Energietransitie Uitdaging "Ieder oppervlak wekt duurzame energie op";
Elektrochemische Conversie & Materialen (ECCM) Chemistry of Advanced Materials en Chemical Conversion, Process Technology & Synthesis	Materialen en processen voor lage kosten en efficiënte conversie, circulariteit en energiesysteemintegratie;
EU (H2020, SET Plan WGs, EERA, KIC)	Nieuwe zonnestroomtechnologieën en -toepassingen, key enabling technologies, stimuleren nieuwe bedrijvigheid;
ETIP PV	Onderzoeksprogrammering, strategische prioriteitsbepaling, interactie markt ↔ industrie;
IEA PVPS & PV QAT	Kwaliteit, duurzaamheid, monitoring, nieuwe toepassingen.

Strategie internationaal

Het speelveld van zonnestroomtechnologie en bijbehorend onderzoek en innovatie is mondiaal, dat van nieuwe toepassingen vooral Europees (vanwege grote verschillende in bouwpraktijk, beschikbaarheid van ruimte, implementatiestrategieën, et cetera). Bij pre-concurrentieel onderzoek en technologieontwikkeling speelt samenwerking binnen Europa een belangrijke rol. Ons land is een actief lid van internationale gremia voor agendering en uitvoering (ETIP PV, SET Plan Working Groups, EERA, IEA PVPS). Samenwerking is vooral van belang om alle benodigde kennis en infrastructuur bij elkaar te brengen (complementariteit) en om snelheid te maken (kritische massa). Laag TRL-onderzoek vindt plaats in samenwerking met mondiale topspelers (UNSW, Caltech, AIST, EPFL, HZB, et cetera). In het downstream deel van de sector is samenwerking belangrijk met andere Europese landen met een vergelijkbare strategie ten aanzien van implementatie, ook om vanuit Nederland grotere markten te kunnen adresseren.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Het innovatiesysteem heeft zich in de afgelopen jaren sterk ontwikkeld, met name gestimuleerd door het TKI Solar Energy en daarna het TKI Urban Energy. Partijen uit de hele keten werken op projectniveau nauw samen en Nederlandse onderzoekspartijen hebben de krachten gebundeld in het kader van de NWA Route Energietransitie. Het merendeel van de bedrijven behoort tot het innovatieve MKB, maar

een toenemend aantal grote bedrijven ontwikkelt ook business in deze groeisector. Met name het downstream-deel van de sector biedt veel kansen voor start-ups. In dit deel van de sector zijn ook meerdere nationale consortia gevormd (of in oprichting), die de krachten bundelen voor innovatie en implementatie (bijvoorbeeld 'Zon op water', 'Zon in landschap en landbouw' en BIPV Nederland). Daarin werken bedrijven, kennisinstellingen, NGO's, publieke partijen en overheden samen om het volledige spectrum van uitdagingen aan te pakken. Een belangrijke volgende stap in de opbouw van het ecosysteem betreft het versterken van de samenwerking tussen onderzoekpartijen op (onder meer) het gebied van socio-economische en juridische uitdagingen, ecologie en energielandschapsarchitectuur ten behoeve van nieuwe toepassingen, en de partijen die actief zijn bij implementatie.

3.3 MMIP 3. Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving

Missie en tussendoel

Dit MMIP draagt bij aan de missie 'Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050', met als tussendoel in 2030: 200.000 bestaande woningen/jaar van het aardgas af (dat zijn 1,5 miljoen woningen) en 15 procent van de utiliteitsgebouwen en maatschappelijk vastgoed aardgasvrij maken).

3.3.1 Wat beoogt dit MMIP?

In dit programma worden innovaties ontwikkeld waaruit nieuwe energieconcepten voor de bouw- en installatiebranche ontstaan met een aanzienlijk lagere kostprijs dan de concepten die op dit moment op de markt beschikbaar zijn. Dit is nodig om vanaf 2025 met 200.000 energierenovaties per jaar de gebouwde omgeving in 2050 kosteneffectief aardgasvrij te maken. Voor stevig draagvlak bij bewoners en gebruikers zullen de resultaten dienen bij te dragen aan het terugdringen van overlast voor bewoners en aan het verbeteren van comfort en gebruikersgemak. Deze innovaties zijn mede gericht op de industrialisatie (mogelijk robotisering) van de productie-, (ver)bouw- en installatieprocessen, en behelzen radicale wijzigingen in de waardeketen om de gewenste versnelling van energietransitie in de gebouwde omgeving te bewerkstelligen. Het vraagt om samenwerking tussen onder andere partijen die de wensen van gebruikers kunnen vertalen in productspecificaties, de bouw- en installatiesector, de toeleveringsindustrie en deskundigen die bij kunnen dragen aan het vormgeven van brede gebruikersacceptatie. Dit MMIP draagt bij aan een snelle groei van de uitvoeringscapaciteit die nodig is om de 'grote verbouwing van Nederland' voor 2050 te kunnen afronden.

Doelstelling van dit MMIP

Gebouwen geschikt maken voor een transitie naar aardgasvrije verwarmingsvoorzieningen door onder andere elektrificatie, inzet van zonne-energie, en lage/midden temperatuur warmtenetten. Innovaties in producten, in diensten én in productie maken dit renovatieproces:

- Aantrekkelijker en goedkoper: aansluiten bij belangen van mensen, zowel particulieren als professionals, waaronder betaalbaarheid (uiteindelijk energierenovatie betaalbaar vanuit energiebesparing, circa 20-40 procent kostenreductie);
- Sneller uitvoerbaar: snelheid op de bouwplaats en aanzienlijke verhoging van de arbeidsproductiviteit en een vertienvoudiging van productie per jaar per pro-

ductielijn met behulp van opvolgende, nieuwe generaties industrialisatie van bouwelementen en geïntegreerde oplossingen.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Om de doelstellingen van dit MMIP te realiseren is, naast innovatieopgaven weergegeven in tabel 3.3.1, ook aandacht nodig voor:

- Opleiding en scholing;
- Monitoring en evaluatie op kwaliteit en effectiviteit/ prestatiegerichte normen en verfijning normeringsmethoden;
- Enthousiasmeren van eigenaren, bewoners en gebruikers (onder andere gedeeld eigenaarschap);
- De rol van lokale initiatieven en vormen om daarop te anticiperen.

Samenwerking met relevante partijen (zoals BTIC en TKI Urban Energy) zal gericht moeten zijn op deze flankerende onderwerpen.

Opeenvolgende product- en systeemgeneraties van concepten en productielijnen zullen, naast nieuwe innovaties, ook telkens het productievolume moeten laten groeien. Deze aanpak beoogt dat, gekoppeld aan een toenemende vraag (zie Klimaatakkoord-startmotor et cetera), ook de investeringen in productielijnen zullen toenemen en tegelijkertijd de kosten per afgeleverd product zullen dalen.

Tabel 3.3.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

3.1 Energieconcepten (incl. optimalisatie in de keten)			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
3^e generatie proposities: - Onderzoek naar integratie van meerdere functies zoals high-performance compacte thermische opslag in bouwdelen en verbeterde isolatiematerialen (prijs, prestatie en inpasbaarheid).	2^e generatie proposities: - Nieuwe productietechnologieën, robotisering. Onderzoek naar bruikbaarheid naar andere serieproductie (n=1) processen zoals de auto-industrie; - Verdere inzet van digitalisering opties in productieprocessen.	1^e generatie proposities: - Zowel totaal- als deelconcepten voor renovatie en voor nieuwbouw van verschillende gebouwtypes om deze aardgasvrij te verwarmen en waar nodig te koelen en het energieverbruik hiervoor (drastisch) te verlagen. Dit betreft ook energieconcepten waarin het lokaal duurzaam opwekken van energie is geïntegreerd (o.a. BIPV), en waarin systemen voor ventilatie en/of warmte/koude zijn geïntegreerd. Uiteraard wordt elk concept mede beoordeeld op 'embodied energy' en circulariteit; - Typologieën en tools voor beslissingsondersteuning (voor verschillende gebouwtypen- sloop, nieuwbouw, renovatie); - Integraal ontwerpen gebaseerd op bewonersvoorkeuren, gezondheid en integratie van functionaliteiten (bijv. geïntegreerde gevels met opwekking, verwarming en ventilatiefunctie).	- Demonstreren van 1^e generatie concepten in de bouw en installatiepraktijk; - Beperkte seriegrootte en optimaliseren van doorlooptijden op de bouwplaats; - Onderzoek naar gebruikers en bewoners appreciatie van innovatieve concepten, evaluatie en terugkoppeling naar 2^e en 3^e generatie ontwikkelingen.

3.2 Robotisering, digitalisering en integratie van installatietechniek in bouwelementen			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
3^e en 4^e generaties Industrialisering: - Nieuwe productie, bouw- en installatietechnieken. Dit gaat verder dan robotiseren van één processtap of verplaatsen (een gedeelte van) het proces naar een fabriek. Het vraagt om een herontwerp van processen en waar nodig en mogelijk automatiseren en industrialiseren. Ook voor activiteiten op de bouwplaats; - Robotiseren van bouw- en installatiehandelingen, herontwerpen van bouwelementen om ze beter, sneller en goedkoper te kunnen aanbrengen; - Flexibilisering van bouwproces om ook binnen een industriële aanpak in variatie en toleranties in bestaande bouw te voorzien. Dit is o.a. cruciaal om monumenten en vooroorlogse bouw te bedienen.	2^e generatie industrialisering: - Digitalisering, data en informatie, vertaald naar goedkopere en gebruikersvriendelijke systeem oplossingen; - Van klantreis, opmeten, ontwerp, realisatie t/m gebruik. Voor automatisering bouwproces; voor toetsing en monitoring prestaties, waaronder kwaliteitsborging incl. meetprotocollen. Mede om gebruikers vertrouwen te geven in de prestaties en ook financiers bij gebouw gebonden financiering; - Keteninnovatie met optimalisatie in samenwerking verschillende disciplines; - Standaardisatie en normalisatie. Gericht op een betrouwbaarder eindproduct, minder faalkosten, uitwisselbaarheid (bijv. afspraken maatvoering) in integratie.	1^e generatie industrialisering: - Robotisering, digitalisering en geïntegreerde keten aanbiedingen.	- Continuïteit in volume (aانبestedingen/ financieel/ klantbehoefte) van het bouwproces en vraagprofilering naar standaardisatie.

3.3 Enthousiasme van gebouweigenaren voor energierenovatie			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek naar gedragsaspecten voor versterking en acceptatie van nieuwe innovatieve oplossingen met impact en wijzigingen op energie-gerelateerd gedrag.	- Verdiepen van (nieuwe) inzichten om product en systeeminnovaties via interactieve gebruikersbetrokkenheid te verbeteren.	- Living labs en toetsing van gebruikersbelangen aan gekozen aanpak, innovatieintroducties en industrialisatiekansen; - Innovatie aanpak afstemmen op gebruikersappreciatie; - Feedbacksystemen om gebruikerservaringen te koppelen aan nieuwe generatie innovaties.	-

3.3.2 Positionering van dit MMIP

Sector(en)

Intensievere samenwerking tussen bouw- en installatiesector, toeleveringsindustrie, maakindustrie en ICT, deskundigen van gebruikersperspectief en onder andere de energiesector, is nodig voor het verhogen van de snelheid en het verlagen van de kosten van (ver)bouwprocessen en tegelijkertijd voor het voorkomen dat kosten, doorlooptijd en ruimtebeslag elders in het systeem onhaalbaar worden.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Kennispartijen en marktpartijen in de bouw organiseren zich beter (in verschillende eco-systemen zoals het BTIC, Stroomversnelling, etc.) waardoor bundeling van kennis en middelen mogelijk wordt. De afstand tussen kennis en praktijk wordt verkleind door R&D in lokale innovatiehubs, zoals Greenvillage en industrialisatie-campus Noord-Nederland. De structuur van de bouwsector, vaak gekenmerkt door de 'varkenscyclus', werkt investering in innovatie en industrialisatie tegen. Desondanks zijn koploperbedrijven gestart met industrialisatie, inclusief vernieuwende samenwerkingsvormen.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

De innovaties uit dit MMIP zijn nodig voor het tijdig energetisch renoveren van de bestaande gebouwvoorraad zoals voorzien in het regeerakkoord en klimaatakkoord en sluiten aan bij de behoefte aan kwaliteitsverbetering en productiviteitsverhoging in de Bouwagenda. Er zal aansluiting zijn bij lopende programma's zoals Aardgasvrije Wijken (BZK) en de Startmotor. Daarnaast vindt samenwerking in Europese R&D-programma's (Horizon) plaats.

Strategie internationaal

Integratie en industrieel fabriceren van renovatie aanbod staat nog aan het begin en is ook in het buitenland nog niet gangbaar. De aanpak van Energiesprong/Stroomversnelling wordt internationaal verspreid en leidt tot kansen voor (nog) grotere volumes, in eerste instantie voor inkoop resp. verkoop van componenten/materialen. Ervaringen vertalen zich in opvolgende generaties van productieprocessen en systeemconcepten.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Betere afstemming, standaardisatie en nieuwe productiemethoden vragen een majeure verandering voor mensen binnen de gehele sector, zowel aan de aanbodal als vraagkant. Koplopers gaan daarvoor al nieuwe samenwerkingen aan. De innova-

ties moeten gesteund worden door een maatschappelijke context die mensen zekerheid, garanties, bewegingsruimte en houvast biedt om deze verandering aan te gaan. Voor de volgende stap in industrialisatie naar meer volume en procesherontwerp nemen investeringen maar ook de risico's toe. Om commitment en versnelling hoog te houden is behoefte aan het beperken en/of delen van risico's. Continuïteit in vraagvolume, keteninnovatie en financiële arrangementen zijn hier randvoorwaardelijke onderdelen in. Garantieregelingen voor het wegnemen van (perceptie van) risico's spelen daarbij een belangrijke rol. Nieuwe subsidieregelingen zullen ruimte moeten bieden voor inzet van innovaties en daarmee flexibiliteit en snelheid bevorderen. Uitvoering van het Klimaatakkoord schept voorwaarden en een sterke thuismarkt en biedt mede door uitvoering van dit MMIP op termijn exportkansen.

3.4 MMIP 4. Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving (inclusief glastuinbouw)

Missie

Dit MMIP draagt bij aan de missie 'Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050'. De focus binnen dit MMIP binnen deze missie ligt op 'Aantrekkelijk Aardgasvrij', met als tussendoelen in 2030: 1,5 miljoen woningen en 15 procent van de utiliteitsbouw en maatschappelijk vastgoed aardgasvrij en een tempo naar minimaal 200.000 aardgasvrije bestaande woningen extra per jaar.

3.4.1 Wat beoogt dit MMIP?

Het grootste deel van het energiegebruik in de gebouwde omgeving is warmte. Dit programma ontwikkelt een voor gebruikers aantrekkelijk aardgasvrij aanbod met een nieuwe generatie apparaten en systemen voor verwarmen, koelen en warmtapwater in de bestaande bouw, die qua omvang, comfort (geluid, thermisch), inpasbaarheid en betaalbaarheid (woonlasten) zo afgestemd zijn op de gebruikers dat zij tijdig de eigen verwarming overzetten naar aardgasvrij. Aantrekkelijk aardgasvrij zowel op gebouw als gebiedsniveau verschilt in uitvoeringsvorm voor verschillende locaties. Warmteopslag is hierbij noodzakelijk om de mismatch tussen beschikbaarheid van warmte en de vraag ernaar te overbruggen én om dimensionering (en daarmee kosten en ruimtegebruik) van netten en installaties te beperken, door het afvangen van pieken zowel binnen een paar dagen of zelf op seizoen niveau. Warmtepompen (vaak ook met energieopslag) zijn belangrijk in gebieden die inzetten op elektrificatie. Ze leveren ruimteverwarming en tapwater in combinatie met (collectieve) laagtemperatuur bronnen en dragen (in de hybride varianten) bij aan de transitie voor opties met duurzaam gas. Collectief gebruik maken van beschikbare warmte kan in een aantal gebieden aantrekkelijk zijn en voordelig in gebruik van ruimte en energie-infrastructuur, netverzwaring of extra opwek locaties voorkomen. Het ontsluiten van nieuwe duurzame warmtebronnen, die ook vaak onderling complementair zullen moeten zijn om seizoenpieken te kunnen opvangen, zijn nodig om de sterk groeiende vraag naar duurzame warmte in te vullen. Dat vraagt collectieve activiteiten, een integrale aanpak, slim afstemmen van vraag, aanbod en opslag en locatie afhankelijke, lagere temperaturen in het gehele systeem van opwekking, distributie tot afgifte. De innovaties zijn sociaal en technisch sterk, onderling verbonden.

Doelstellingen van dit MMIP

Dit MMIP richt zich op technische en socio-economische innovatie voor een snelle groei van duurzame warmtesystemen. Gemeenten zullen de komende jaren via de transitievisies warmtekeuzes moeten maken voor collectieve of juist individuele duurzame warmteoplossingen. Doel is het verbeteren van bestaande typen apparaten en systemen (beschikbaar < vijf jaar) en het ontwikkelen van nieuwe concepten (beschikbaar > vijf jaar) en bijbehorende diensten en gebruikersenthousiasme gericht op:

- Het realiseerbaar maken van de drie hoofdconcepten voor warmte en koude bij renovatie: (1) elektrificatie, (2) warmtenet, (3) duurzaam gas en combinaties daarvan;
- Toepasbaarheid in bestaande situaties (compact, stil, installatie- en gebruiksgemak, ruimtegebruik, et cetera);
- Beschikbaarheid tegen lagere integrale kostprijs op systeemniveau (richting 30-50 procent voor individuele oplossingen respectievelijk 15 procent voor collectieve systemen) ten opzichte van huidige kostenniveaus;
- Gelijke tred te houden in het beschikbaar krijgen van nieuwe innovatieve oplossingen met de verwachte tempoerhoging naar aardgasvrije energierenovaties (aantrekkelijkheid, aanlegmethodes, installatiegemak, industrialisatie, et cetera);
- Benutten van duurzame bronnen (zoals zonnewarmte, aquathermie, geothermie en vormen van bio-energie voor collectieve warmte), inclusief de benodigde systeemkoppelingen en back-up voorzieningen voor winterpieken.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.4.1. Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

4.1 Stille, compacte, slimme, kostenefficiënte warmtepompen			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- (Voor gebouwde omgeving) ontwikkeling nieuwe warmtepompprincipes die op bovenstaande doelen een grote stap realiseren. Voorbeeld met potentie: akoestische warmtepomp.	- Miniaturisatie; - Stiller en esthetisch aantrekkelijker (denk aan oplossingen zonder buitenunit); - Kostprijsverlaging.	- Connectivity.	- Kostprijsverlaging door industrialisatie; - Gebruiks- en installatiegemak; - Toegankelijke kennis en aanbod dat aansluit bij belangen installateurs en gebruikers; - Mixed reality voor ondersteuning installatie nieuwe technologie.

4.2 Afgifte-, ventilatie- en tapwatersystemen

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
3^e generaties: - Gecombineerde en geïntegreerde apparaten/systemen waarin compacte opslag, warmtepomp en -afgifte, ventilatie, en/of zonnewarmtesysteem en/of warmtenet zijn samengebracht.	2^e generaties: - Doorontwikkeling miniaturisatie, stiller, esthetisch aantrekkelijker, kostprijsverlaging; - Efficiëntere lage temperatuur afgifte; - Verbeterde lokale ventilatiesystemen; - Integraal product-dienst-aanbod incl. gemak vervanging en onderhoud, standaardiseren aansluitingen, modulair, compacte combinatie, prestatiegarantie en certificering; - Regelalgoritmes; - Optimalisatie van- en tussen afgiftesystemen en vraagbeperking. Legionella preventie i.r.t. laag/midden temperatuur individuele en collectieve warmte + koude systemen.	1^e generaties: - Miniaturisatie; - Stiller en esthetisch aantrekkelijker; - Kostprijsverlaging; - Efficiëntere lage temperatuur afgifte; - Verbeterde gezonde ventilatiesystemen, als onderdeel van het totaal warmteconcept ook bestaande bouw. (gebruikersenthousiasme); - Optimalisatie van- en tussen afgiftesystemen, vraagbeperking (isolatie, efficiëntie, zonwering), warmte én koude, legionella preventie i.r.t. laag/midden temperatuur individuele en collectieve warmtesystemen; - Maximale benutting van bestaande afgifte systemen op lagere temperaturen.	- Mixed reality voor ondersteuning installatie nieuwe technologie; - Digital twins van energiesystemen voor control, foutsignalering en diagnose, herstelsuggesties om suboptimaal presteren te voorkomen; - “Derde succesfactor” aanpak gericht op belangen en gebruikersenthousiasme, ook in complexe wijken.

4.3 Slimme compacte warmte-batterij

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Materialen, reactor en systeemconcept voor opslag via (de)hydratatie van zouten; - Idem via redox reactie bijv. van Cu. - Reacties die minder energie vereisen bij het vrijmaken van opgeslagen warmte; - Opslag met materialen met poriediameter < 2 nm (bijv. MOFs).	- Gericht op WP combi met opslag in water of PCM, bijv.: vormvrije vaten; compartimentering en warmteoverdracht; kostprijsverlaging door andere materialen (composiet); betere isolatie; - Inzet van AI en big data voor optimale regelcondities.	- WP combinatie met PCM of water opslag met optimale regelstrategie; - Opslag op wijkniveau.	- Inzet WP/Opslag combinatie gericht op 24 uur peak shaving en bijbehorende regelalgoritme, inpassing in Smart Grids.

4.4 Slimme warmtenetten			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Ontwerpmethodes voor warmte(koude)netten met gedistribueerde bronnen (zonthermisch, bio, data-centers, etc.); - Optimalisatie energiebesparingsniveau, warmte én (toenemende) koude vraag, onderling uitwisseling op gebiedsniveau, opslag, regelstrategieën en piek-oplossingen voor kostenreductie.	- Onderzoek naar seizoeneffecten aquathermie, impact op de omgeving en watersysteem waaruit onttrokken wordt; - Aanlegmethodes en materialen voor bestaand gebied i.c.m. andere ruimtevaarders, “non invasive inner city surgery”; - Optimalisaties en piek-oplossingen; - Socio-economische innovaties, samenwerkingsvormen, verdienmodellen voor partijen binnen een collectief systeem – beheerstructuren aquathermie systemen; - Potentie en verdere ontwikkeling en kosten reductie lokale lage temperatuurbronnen, zoals verschillende vormen van aquathermie, datacenters, in combinatie met individuele of collectieve warmtepompen. - Aanbevelingen voor landelijke regelgeving rondom aquathermie (lozingen, onttrekking etc.).	- Stand alone netten op wijkniveau; - Optimalisatie warmtenetten met verschillende bronnen/ hybride systemen, slimme voorzieningen (zoals back-up capaciteit, vraagflexibiliteit en opslag) voor kostenreductie); - Kas als energiebron.	- “Derde succesfactor” aanpak gericht op belangen en gebruikersenthousiasme, ook in complexe wijken; - Nieuwe tariefvormen die efficiëntie (w.o. uitkoeling) belonen; - Samenwerkingsvormen met lokale participatie en lokale energy communities; - Pilot fase voor laagtemperatuur netten (aquathermie) met collectieve of ind. warmte pompen.

4.5 Grootschalige thermische opslag

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Ontwerpmethodes om optimaal thermisch rendement te behalen uit grootschalige warmte opslag, rekening houdend met dichtheidsverschillen; - Impact van thermische opslag op midden temperatuur op het grondwatersysteem.	- Thermische opslag op (minimaal) midden temperaturen geschikt voor directe verwarming; - Optimalisatie (flex) in grootschalige systemen en opties voor Power-to-heat; - Aanlegmethodes (m.n. ook in bestaand gebied), grootschalige ondergrondse opslag, materiaal en aansluitingen.	- Optimalisatie en kostenreductie, w.o. standaardisatie en optimalisatie van individuele systemen naar gebiedsniveau gezamenlijke WKO-systemen; - Doorontwikkeling grootschalig prototype/ demo opslag op (minimaal) midden temperatuur in de ondergrond i.c.m. slimme regelstrategien. Benutting ervaringen uit DK.	- Voorbereiden pilot grootschalige MT ondergrondse thermische opslag.

4.6 Geothermie

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Verdieping kennis van de diepe ondergrond.	- Verbeteren van waterinjectie, levensduurverlenging van de put, kosteneffectieve abandonnering, effecten op seismiteit en verbeteren van reservoirmanagement en kansen voor ondergrondse opslag.	- Verbeteren van de ESP, alternatieve productiemethodes, verbeterde boortechnieken en putontwerpen, verbeteren reservoir stimulatie, levensduurverlenging materialen (met name in putten); - Voor ondiepe geothermie kennisopbouw vanuit prototyping, pilots en lage temperatuur warmtenetsysteem; - Kennis voor adequate beheersing van de specifieke (in het algemeen lagere) risico's ondiepe geothermie.	- Data acquisitie voor gebieden met veel warmtevraag en weinig geologische data, hergebruik van bestaande infrastructuur, milieu, veiligheid en risicoperceptie, en doelmatig gebruik van de ondergrond (ook voor ondiepe geothermie en andere gebruiksfuncties in de ondergrond).

3.4.2 Positionering MMIP**Sectoren**

De belangrijke sectoren waarmee dit MMIP wordt uitgevoerd zijn: de toeleverende industrie voor de installatiesector, partijen die werken aan energiesystemen in de ondergrond, de installatiesector, bouwsector, warmtebedrijven, netbeheerders, waterschappen en -sector, civiele techniek, geo-bedrijven, met belangrijke betrokkenheid van gebouweigenaren, gebiedsbeheerders, glastuinbouw en lokale collectieven aan de implementatiekant. Relaties worden ook gelegd met onder andere de

creatieve sector en financiële sector voor de beoogde aantrekkelijkheid. We verbinden de potentiële vraagsectoren met de sectoren die expertise en belang hebben bij aanbod en bij de ondergrond. Belangrijke inbreng wordt verwacht van de Topsector Water voor met name de onderwerpen met een relatie tot de ondergrond en aquathermie (onder andere Deltares). Met de Topsector Chemie zal worden samengewerkt rond onderzoek naar nieuwe opslagmaterialen.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Veel warmtepompen worden nu nog buiten Nederland geproduceerd, de bestaande Europese samenwerking wordt verder ontwikkeld. Nederlandse bedrijven onderscheiden zich nu al op gebieden, zoals type warmtepompsysteem (bijvoorbeeld zonder buitenunit), compactheid, installatie vereenvoudiging, monitoring op afstand en connectivity voor optimale inzet en onderhoud, combinatie met ventilatie. Integratie in energiemodules voor de bestaande bouw zijn ontwikkeld door en voor de bouwsector, met de ambitie tot verdere industrialisatie en integratie van bouwelementen. Daarnaast zijn in Nederland geheel nieuwe principes voor de gebouwde omgeving in onderzoek zoals de akoestische warmtepomp. Een scala aan bedrijven is actief met opslag in water en nieuwe opslag materialen en principes en met integratie van systemen. Voor compacte opslag participeren belangrijke bedrijven in onderzoek en ontwikkeling. De kennis voor fundamenteel en toegepast onderzoek is geconcentreerd bij TNO en 4TU, andere universiteiten participeren op deelspecialismen en hogescholen raken ook steeds meer aangesloten. Industrieel onderzoek en ontwikkeling vindt plaats bij een aantal Nederlandse industrieën die een groeiende afzet zien ontwikkelen. Tezamen hebben zij een toppositie op het terrein van dit MMIP, in het bijzonder ten aanzien van opslag en integratieaspecten, regeling en monitoring.

Nederland heeft een sterke kennispositie rondom de specifieke condities van de Nederlandse ondergrond, mede vanwege gaswinningexpertise en een zeer brede toepassing van WKO-systemen. Voor systeemanalyses, ontwerpmethodes warmtenetten en gebruik van ondergrond en oppervlaktewater is veel kennis aanwezig bij Deltares, KWR, TUD, WUR en UU. Op het gebied van collectieve warmtenetten heeft Nederland nog een bescheiden positie. Het smart heat grid concept 'Mijnwater' is wel internationaal innovatief en actief in EU-projecten. De groeiende aandacht voor de verschillende vormen van aquathermie en de positieve betrokkenheid van de waterschappen bieden kansen om een belangrijk deel van de warmtevraag te verduurzamen. Kennis over het aansluiten bij belangen van gebruikers en andere partijen in de toepassingsketen, complexe wijken en marketingconcepten (inspiratie uit bijvoorbeeld Zara Home) verdienen meer aandacht om breed te worden toege-

past. Belangrijk voor grootschalige toepassing is niet alleen om kennis te ontwikkelen bij innovators, maar ook te zorgen dat aardgasvrije oplossingen toepasbaar worden voor installateurs en gebruikers. Dat vraagt enerzijds aantrekkelijkere oplossingen en anderzijds toegankelijke kennis en kunde daarover.

Samenhang met nationale en internationale agenda's

In het Klimaatakkoord is veel aandacht voor de grote opgave om de bestaande gebouwde omgeving te transformeren van aardgas naar andere opties voor ruimteverwarming, -koeling en bereiding van warm tapwater. Verduurzaming van de warmtevoorziening met daarbij een gezond binnenklimaat is cruciaal voor de energietransitie. De opgave is om steeds nieuwe generaties producten en systemen te ontwikkelen die aantrekkelijk zijn voor de gebruiker en passen bij totale renovatieconcepten (MMIP 3) en samen met lokale systeemintegratie (MMIP 5) zorgen voor betrouwbare duurzame wijkssystemen. Er zal worden aangesloten bij lopende programma's, zoals Aardgasvrije Wijken (BZK), Regionale Energie Strategieën (RES) en Warmtetransitieplannen (gemeenten), de 'Startmotor' en de Bouwagenda. Daarnaast vindt samenwerking plaats in Europese R&D-programma's (Horizon) en zijn een aantal IEA TCP's actief op dit onderwerp. Voor Mission Innovation vormt het een van de zeven 'priority' thema's (#7 Affordable heating and cooling). Samenwerking is er met andere vakgebieden, waaronder chemie en watertechnologie (onder andere op legionella en op opslag in ondergrond). Ook zijn er relaties te leggen met gezondheid, veiligheid en klimaatadaptatie.

Strategie internationaal

In Europa is in het kader van ECTP/EeB programma's in Horizon 2020 en opvolger Horizon Europe veel steun voor thema's uit dit MMIP te vinden, mede dankzij input vanuit Nederland. Voor warmteopslag en toepassing van lage-temperatuurbronnen, zoals aquathermie, is het perspectief dat buitenlandse partijen op de koplopers-kennispositie van Nederland afkomen. Mission Innovation heeft dit onderwerp aangeduid als een van de prioriteitsgebieden en Nederland heeft op onderdelen daarvan een trekkersrol (warmtebatterij). Nederland heeft een goede tot unieke kennispositie, verdeeld over een beperkt aantal onderzoeksinstituten en andere organisaties. Om internationale kennis snel beschikbaar te krijgen voor de Nederlandse situatie zal actief worden samengewerkt met internationale gremia (waaronder IEA TCP's en EU-programma's). Internationale samenwerking en kennisdeling met landen in onder andere Scandinavië heeft voordelen vanwege vergelijkbare klimaatomstandigheden en potentiële governance modellen voor met name collectieve systemen en grootschalige warmteopslag.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Binnen het TKI Urban Energy ecosysteem hebben veel bedrijven en kennisinstellingen elkaar al gevonden voor activiteiten als beschreven in dit MMIP en zijn er gevorderde initiatieven voor gezamenlijk, meerjarig programmaonderzoek naar met name warmteopslag en warmtenetten. Vernieuwing vindt ook plaats op combinaties van vakgebieden. Consortiumvorming wordt ondersteund door verbindingen daartussen te faciliteren. Binnen de Topsector Energie bijvoorbeeld wordt gewerkt aan nieuwe samenwerkvormen met de bouw in samenwerking met MMIP 3 en met het geo-energie cluster van TKI Nieuw Gas, dat zich verbreedt en in focus verschuift naar diepe geothermie. Het BTIC, waarin de bouwinstallatiesector samenwerkt met TNO en 4TU, heeft dit MMIP als prioriteitsthema geïdentificeerd. Andere combinaties zijn er onder andere met TKI Watertechnologie, TKI Chemie, TKI T&U (relatie met glastuinbouw en geothermie) en TKI ClickNL.

De markt is in een relatief vroege fase van ontwikkeling, maar is door het richting gevende karakter van het Klimaatakkoord snel groeiende. De nieuwbouw wordt nu al in hoog tempo van alternatieve duurzame (aardgasloze) warmtesystemen voorzien en door de Startmotor zal die ontwikkeling ook snel in de bestaande bouw doorzetten. Daarnaast zijn een aantal grote spelers actief, bijvoorbeeld de warmtebedrijven, woningcorporaties (vanuit de vraagzijde) en EBN. Het innovatiesysteem is op onderdelen al goed en op andere onderdelen nog sterk in ontwikkeling.

3.5 MMIP 5. Het energiesysteem binnen de gebouwde omgeving in evenwicht

Missie

Dit MMIP draagt bij aan de missie 'Een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050'. De nadruk van dit MMIP ligt op het tussendoel voor 2030 dat het energiesysteem in de gebouwde omgeving het mogelijk maakt om minimaal 20 procent van het lokale energiegebruik (inclusief EV) binnen de gebouwde omgeving duurzaam op te wekken.

3.5.1 Wat beoogt dit MMIP?

Dit MMIP is gericht op het komen tot een geïntegreerd energiesysteem binnen de gebouwde omgeving met optimale afstemming van de lokale schone energievraag vanuit bedrijven en burgers naar comfort, elektriciteit, warmte en mobiliteit. We gaan er daarbij vanuit dat lokale opwekking van elektriciteit uit zonnepanelen, lokale energieopslag, opwekking en distributie van lokale duurzame warmte en verschillende flexibiliteitsopties zoveel mogelijk lokaal wordt ingezet ter dekking van het gebruik van elektriciteit, (elektrisch)vervoer en warmte, niet alleen op jaar-basis, maar ook op kwartier-, uur- en dagbasis en tussen seizoenen. De eindgebruiker speelt een sleutelrol in dit systeem en zal hierbinnen een actieve, meesturende rol spelen op basis van eigen behoeften en gericht op lagere kosten (zowel individueel als maatschappelijk). De gebouwde omgeving blijft weliswaar onderdeel van het (inter)nationale energiesysteem maar de relatie met het lokale energiesysteem zal van aard veranderen en de afhankelijkheid van het centrale systeem zal kunnen verminderen. Hoe meer energiestromen binnen de sector Gebouwde Omgeving kunnen worden opgewekt en direct kunnen worden gebruikt of opgeslagen, hoe meer ook het landelijke energiesysteem kan worden ontlast en onnodige kosten vermeden kunnen worden. Er wordt gewerkt aan de flexibiliteitscapaciteit die in 2030 nodig zal zijn.

Doelstellingen MMIP

- Dit MMIP is gericht op het ontwikkelen van oplossingen en op het faciliteren van het integraal energiesysteem met optimale afstemming van de lokale vraag met het aanbod van (duurzame) elektriciteit en warmte op zowel (zeer) korte termijn als op middellange en lange termijn. Dit onder andere door het flexibel koppelen van de sectoren.

- Er wordt gewerkt aan de flexibiliteitscapaciteit, inclusief inzet van opslag, die in 2030 nodig zal zijn om met de gevolgen van het verminderde gasverbruik en met grotere fluctuaties in vraag en aanbod van energie om te gaan.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Wijk voor wijk wordt Nederland duurzaam. Ongeacht de diversiteit aan energieoplossingen in de wijk zal het energiesysteem toekomstbestendig en geïntegreerd worden gerealiseerd. Door met verschillende modellen en integrerende technologieën te werken kan straks aan deze uitdaging worden voldaan. Dit MMIP richt zich op de overall systeemaspecten, marktmechanismen en ruimtelijke inpassing.

Hiermee kan ook een bijdrage worden geleverd aan de grote systeemvragen. Volgens ECN is bijvoorbeeld het huidige energiesysteem, zonder grote aanpassingen, in 2030 niet meer in staat om in de flexibiliteitsbehoefte te voorzien. Naar verwachting komt dan 70 procent van de benodigde elektriciteit (op jaarbasis) uit duurzame bronnen en kan een overschot aan duurzame elektriciteit niet worden opgevangen door conventionele elektriciteitscentrales terug te regelen. Het gaat hierbij om waarden die zich gedurende kortere periodes per jaar voordoen: een paar uur tot een paar dagen per jaar.

De innovaties binnen dit MMIP richten zich op het overbruggen van de kloof tussen kennis- en systeemontwikkeling en grootschalige toepassing in wijken. Elektrificatie en inzet van duurzame warmtebronnen biedt ten opzichte van de nieuwe warmtevoorziening op korte termijn een handelingsperspectief voor gemeenten en burgers. De wisselwerking tussen de snel oprukkende elektrische auto's en de verwachte groei van warmtepompen en buurtbatterijen vergt een andere uitwisseling en aansturing om binnen de gebouwde omgeving de balans te behouden en de kosten voor netverzwaring te beperken. Ruimtelijke inpassing voor de verschillende onderdelen van een lokaal energiesysteem, zoals buurtbatterijen en hybride toepassingen, kunnen leiden tot nieuwe planningsopgaven, complexe gebiedsprocessen en (financieel-economische en organisatorische) vraagstukken.

De meeste urgente kennis- en innovatievragen voor de komende periode zijn onderverdeeld in de volgende deelprogramma's.

Tabel 3.5.1. Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

5.1 Lokale systeem-optimalisatie			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Maatschappelijke innovatie en inclusiviteit voor een succesvolle toepassing van systeemintegratie en een breed gedragen transitiepad; - Afwegingskader en handelingsperspectief voor welstand en esthetiek in de wijk, klimaatadaptatie, flora, fauna en ruimtelijke ordening; - Rekeninstrumenten waarmee lasten en baten evenredig verdeeld worden; - Ontwerpen voor gedragsverandering; - (Energie)markt- en financieringsmechanismen voor verdeling van investeringen, baten en lasten door systeem-optimalisatie tussen actoren in de gebouwde omgeving.	- Experimenteren met financieringsmogelijkheden voor investeringen in integratie en flexibiliteitscapaciteit; - Benutten van DC in lokale elektriciteitsnetwerken; - Ontwerpmethoden en afwegingskader voor lokale elektrische infrastructuur waarbij alternatieven voor gas, conversie en opslag ingepast binnen technische, economische en regulatorische haalbaarheid; - Ontwerpen van planningsopgaven gebiedsprocessen voor het inpassen van lokale energiesystemen; - Besluitvorming, om te komen tot een eerlijk en betaalbaar energiesysteem (zowel E als W) met inzicht in wederzijdse afhankelijkheden.	- Bestaande ICT modellen aanpassen zodat resultaten kunnen worden vergeleken, geoptimaliseerd en samengevoegd, o.a. via gestandaardiseerde en interoperabele real-time data uitwisseling tussen energiesystemen en vraagpatronen.	- Modellen beschikbaar maken die initiatiefnemers in staat stellen om optimaal geïntegreerde lokale energiesystemen te ontwerpen, met de daarbij horende duurzame energiedrager(s). Hierdoor kan lokale flexibiliteit, opslag en conversiecapaciteit bijdragen aan de totale systeembetrouwbaarheid en verlaging van kosten.
5.2 Regelalgoritmen voor besparing, energieoptimalisatie en sectorkoppeling (binnen gebouwde omgeving en glastuinbouw)			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Ontwerpen van een optimaal, gebalanceerd en robuust lokaal elektriciteits- en warmtesysteem (inclusief elektrisch vervoer) met daarbij behorende financiële prikkels.	- Ontwikkelen van technische en ICT flexibiliteitsoplossingen: opslag, balancering en conversie van elektriciteit en uitwisselingsaspecten tussen sectoren en duurzame bronnen (E+W).	-	- Faciliteren van brede benutting van bestaande open source tools.

5.3 Data-architectuur en handelssystemen			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Afsprakenstelsels en systemen voor het delen van energiedata tussen partijen voor systeemintegratie binnen privacy en cybersecurity kaders.	- Gestandaardiseerde en interoperabele (near) real time data-uitwisseling tussen energiesystemen; - Standaard interfaces.	- Voortbouwen op breed gedragen (inter)nationale referentiearchitecturen voor nieuwe energiediensten zoals flexibiliteit.	-

5.4 Flexibiliteit en energieopslag			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Verdienmodellen en incentives voor flexibiliteit om het systeemmechanisme voor stakeholders aantrekkelijker te maken.	- In kaart brengen van (nabije) energiebronnen, energievraag en opslag- en conversiemogelijkheden; - Handelssystemen met lokale energiesysteem-overwegingen; - Systemen en materialen voor efficiënte energieopslag en aansturing in de gebouwde omgeving; - Integratie met opwekking (o.a. PV) en gebruik (o.a. EV en warmte).	- Handelsplaats voor lokale vraag en aanbod van (duurzame) energiebronnen en energie; - Operationele pilots voor opschaling en integratie; - Actieve participatie met decentrale opwekeenheden en Power-to-heat.	- Experimenteren met geautomatiseerde curtailment.

3.5.2 Positionering MMIP

Sectoren

Dit MMIP heeft betrekking op lokale overheden, netbeheerders, warmtebedrijven, energieleveranciers, programmamverantwoordelijke partijen, (MKB-)bedrijven voor diensten en technologie-oplossingen, de IT-sector en kennisinstellingen. Hierbij zal ook de ruimtelijke afweging een rol gaan spelen, zeker in de ondergrond.

Dit MMIP kijkt met een integrale bril naar lokale energiesystemen in de gebouwde omgeving, met een focus op wijk- en regionaal niveau, maar gaat niet in op de (technische) componenten van energieopwek, -transport en -vraag. Het gaat bij dit MMIP vooral om de systeemsamenhang met deze componenten (in de gebouwde omgeving, mobiliteit en industrie). Daarnaast zijn de lokale systeemvragen relevant in relatie tot de systeemvragen bij MMIP 13 'Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem'.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Van veel van de benodigde technologieën en modellen voor optimale systeem-integratie zijn de afgelopen jaren de 'bèta-versies' ontwikkeld en getoetst in proeftuinen. Deze technologieën en modellen zijn nu beschikbaar voor volledige integratie en opschaling door Nederlandse (MKB-) bedrijven. Het leggen van een sterkere verbondenheid en optimalisering tussen de sectoren (elektriciteit, warmte en mobiliteit) zowel voor duurzame opwekking als vraag vormt een nieuw kennisdomein. Nederland is sterk in data gedreven optimaliseren van het elektriciteitsnet, het inspelen op veranderende marktprijzen alsook referentie-architecturen. In de wijk van morgen is de rol van de elektrische auto belangrijk voor opslag en balans, naast de flexibiliteit die thermische opslag en inzet vanuit de warmte-transitie biedt. Op het gebied van laadinfrastructuur voor elektrische auto's is Nederland mede door de vroege stimulering van elektrisch vervoer wereldwijd toonaangevend. De gedegen en kwalitatief goede (ICT)technologie die hier mee is gemoeid wordt als basis gezien voor de integratie van andere verbruiks- en opslagsystemen in de gebouwde omgeving.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Aansluiting wordt gezocht bij lopende programma's als Aardgasvrije Wijken (BZK). Door samenwerking worden investeringen optimaal benut, en wordt vroegtijdig betrokkenheid van bewoners gezocht voor innovatie in technologie en benadering in een living lab omgeving. Diensten als flexibiliteit, systeemintegratie en elektrificatie hebben binnen de energiesector een hoge betrokkenheid van eindgebruikers, dat hoognodig is voor een succesvolle energietransitie. Het onderwerp sluit ook aan bij thema's binnen Mission Innovation. Met een aantal IEA TCP wordt al samengewerkt, alsmede in verschillende EU-programma's.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Met dit MMIP wordt de schaalvergroting gestart voor een optimaal energiesysteem in de gebouwde omgeving. Het is van belang dat de doelgroep (gemeenten, netbeheerders en betrokken bedrijfsleven) beter in beeld komt en de ruimte krijgt om met prototypes van geïntegreerde systemen te experimenteren. De doelgroep van de dienst 'flexibiliteit' zijn programmamaverantwoordelijken en 'aggregators', netbeheerders voor hun congestiemanagement en de TSO voor het bewaren van de balans in de elektriciteitsvoorziening. Voor de koppeling tussen de sectoren zullen ook de mobiliteitssector en de warmtesector belangrijke spelers zijn binnen de te vormen consortia. Samenwerking wordt voorzien met de Topsectoren logistiek en Creatieve industrie.

3.6 MMIP 6. Sluiting van industriële ketens

Missie

In 2050 zijn waardeketens circulair en duurzaam¹, zoals geformuleerd in het grondstoffenakkoord en uitgewerkt in de vijf transitieagenda's circulaire economie. In deze ketens worden grondstoffen hoogwaardig benut, wordt geen afval geproduceerd en is alle gebruikte energie duurzaam opgewekt. In 2030 is het verbruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) met 50 procent verminderd, een aantal processen voor de productie van hoogwaardige onderscheidende producten en klimaatneutrale brandstoffen op basis van biomassa opgeschaald, en is CCS met succes geïmplementeerd op processen waarvoor op korte termijn geen klimaatneutraal alternatief beschikbaar is.

3.6.1 Wat beoogt dit MMIP?

Dit MMIP beoogt kennis en innovaties te ontwikkelen waarmee de industrie kan produceren met minimale milieukosten over de totale levensduur. Voor de CO₂-emissiereductie doelstelling van de industrie is het klimaatneutraal maken van de koolstofkringloop het belangrijkste onderdeel van de missie. Hierbij is kwalitatief hoogwaardige recycling het uitgangspunt van de ontwikkelingen. Tenslotte dienen reststromen en biomassa als nieuwe grondstof voor productieprocessen.

Doelstellingen MMIP

1. Circulaire grondstoffen en producten²: 50 procent minder verbruik van primaire grondstoffen in 2030 en een circulaire economie in 2050; CO₂-reductie van 8-10 Mton/jaar in 2050. Voor kunststoffen en metalen zijn technische innovaties (voorbehandeling, scheidings- en karakteriseringsmethoden, recycling-processen), productinnovaties (ontwerp- en productieverbetering, materiaal-substitutie) en systeeminnovaties nodig. Daarnaast is bij hergebruik van restgassen nieuwe chemie en technologie voor voorbehandeling van gassen noodzakelijk. Voor de lange termijn is sluiting van de koolstofkringloop via direct air capture (DAC) van CO₂ voorzien.
2. Biobased grondstoffen, producten en brandstoffen: in 2030 zijn hoogwaardige productketens (niches, high-end) ingevuld door biobased koolstof, in 2050

1 Grondstoffenakkoord; vijf transitie-agenda's circulaire economie: deze doelstelling zal in de nabije toekomst getoetst en verder uitgewerkt en genuanceerd worden voor die materialen waar wellicht de keten niet geheel gesloten kan worden.

2 In het klimaatakkoord worden naast de hier genoemde onderwerpen ook benoemd: hergebruik van beton en bouw en sloopafval, ketensluiting van consumptiegoederen, en circulair ontwerp en substitutie van grondstoffen voor de energietransitie. Voor zover ze raken aan industriële processen en producten zullen deze onderwerpen in de uitwerking van MMIP 6 worden meegenomen.

wordt brede toepassing (bulkchemicaliën) bereikt met een totaal potentieel van circa 190 PJ.³ Een deel van de als grondstof benodigde koolstof zal ook in 2050 nieuwe koolstof zijn, omdat kringlopen niet volledig en op hetzelfde kwaliteitsniveau te sluiten zijn. Naar verwachting kan circulariteit uiteindelijk voor 80 procent nieuw koolstofgebruik vervangen, en is 20 procent nieuwe koolstof in de productieketens nodig. Hiervoor wordt biomassa ingezet. Binnen dit deelprogramma vindt ook ontwikkeling plaats van (productieprocessen voor) duurzame biobrandstoffen ten behoeve van vervoerwijken binnen de mobiliteitssector waar elektriciteit of waterstof geen alternatief zijn. Belangrijke doelen daarbij zijn ontwikkeling van geschikte brandstoffen voor verschillende toepassingen, verlaging van de kosten van productie, het verhogen van energetische rendementen, en verlaging van de CO₂-footprint van well-to-tank ketens voor biobrandstoffen.

3. Maatschappelijke en socio-economische inbedding van circulaire en biobased waardeketens. Voor alle bovenstaande lijnen zullen structurele aanpassingen moeten worden gemaakt in de manier waarop we onze samenleving en industrie vormgeven. Zo zullen nieuwe bedrijfs- en marktmodellen van toepassing zijn, zijn maatschappelijk begrip, acceptatie en actie essentieel, en moet nieuwe wet- en regelgeving worden ontwikkeld.
4. Toepassing en maatschappelijke acceptatie van CCS. Realisatie van minimaal één CCS-demo op grote schaal (2-4 Mton/jaar) in de periode 2023-2025 met afvang van CO₂ in de industrie bij een puntbron en opslag onder de Noordzee in bijvoorbeeld één of meerdere lege aardgasvelden. CCS zal met name een rol spelen als optie om op korte termijn snelle emissiereductie te bereiken. Daarvoor is kostendaling nodig, verhoging van het energetisch rendement en het ontwikkelen van een transport- en opslaginfrastructuur. Voor de langere termijn kan bio-energie met CCS (BECCS) een optie zijn voor negatieve emissies. Vanwege de impact op infrastructuur en het maatschappelijke debat rond CO₂ opslag is maatschappelijke inbedding en socio-technisch/socio-economisch onderzoek noodzakelijk.

3 20 procent van verbruik fossiele grondstoffen 2016 (CBS).

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.6.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

6.1 Circulaire grondstoffen en producten In Circulaire grondstoffen en producten worden kennis en innovaties ontwikkeld voor omzetting van CO ₂ en CO uit proces- en verbrandingsgassen in grondstoffen en producten (Carbon Capture and Usage, CCU), inclusief Direct Air Capture (DAC). Daarnaast worden processen ontwikkeld voor voorbereiding en recycling van afval en plastic, en voor het sluiten van de non-ferro metaalketen via voorbereiding en recycling.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Vernieuwende principes voor recycling en duurzame productie voor grondstoffen en producten; - Duurzame processen voor hoogwaardige bulkchemicaliën (bijv. polymeren) op basis van CO en CO₂; - Logistiek van circulaire en biobased grondstoffen; - Verbeterde CO₂ sorbents voor DAC.	- Nieuwe producten en productieprocessen voor plastics en metalen; - Technologie voor de afvalfase: inzamelen, voorbereiden, scheiden en karakteriseren; - Chemische recycling technologie voor afval; - Duurzame processen voor CO/CO₂ naar eenvoudige chemicaliën en brandstoffen, inclusief hergebruik CO₂ en CO uit de staalindustrie; - Mineralisatie van CO₂.	- Optimalisatie van mechanische recycling voor meerdere plastics; - Geschikt maken van slakken en slurries voor hergebruik; - Grootschalig toepasbaar maken van CO₂ opslag in bouwmaterialen; - Pyrolyse van plastics als kraker feedstock; - Terugwinning van grondstoffen uit zuiveringsslib; - Kostenverlaging en opschaling van DAC.	-
6.2 Biobased grondstoffen, producten en brandstoffen In biobased gebaseerde grondstoffen, producten en brandstoffen worden routes voor hoogwaardige, onderscheidend gebruik van biomassa onderzocht. Doel is om kringloopsluiting te bereiken via suppletie met 20 procent niet fossiele koolstof, in processen waar dat op een andere manier niet mogelijk is.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Nieuwe biobased chemical building blocks; - Valorisatie van lignine en hemicellulose; - Vergroten van feedstock flexibiliteit van conversieprocessen.	- Bioraffinage concepten; - Voedingssystemen voor continue hoge-druk processen/ reactoren; - Thermochemische routes: Pyrolyse naar olie; Torrefactie naar koolstofbron voor ijzerproductie; - Chemisch-katalytische en biotechnologische conversieroutes.	- Vergassing van afval voor productie syngas, inclusief gasreiniging; - Verbreden toepassingen van kansrijke building blocks; - Productieketens voor advanced biofuels; - Biobased pyrolyse olie als voeding voor olieraffinage.	- Toepasbaar maken biobased bouwmaterialen voor grootschalige uitrol; - Opschaling en kostenverlaging van groen gas productie.

6.3 Ontwerp en inbedding van nieuwe circulaire ketens

Maatschappelijke en socio-economische inbedding van circulaire waardeketens met minimale koolstof footprint en cascadering.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Nieuwe waardeketens voor plastics, o.b.v. materiaal- en productinnovaties; - Onderbouwen footprint van producten en processen; - Businessmodellen voor hergebruik, onderhoud en ketenintegratie; - Normering, wetten en financiële prikkels; - Gedrag en acceptatie rond circulaire producten en ketens.	- Showcase van ketensluiting van een complex plastic product; - Evaluatiekader voor socio-economische inbedding van circulaire producten.	-

6.4 Toepassing CCS en maatschappelijke acceptatie

Activiteiten zijn gericht op het versneld en kosteneffectief inzetten van CCS bij bestaande installaties, bijvoorbeeld bij de productie van blauwe waterstof. Onderwerpen zijn: procesintegratie en optimalisatie van het afvangproces, transport, opslag en slimme monitoring, en maatschappelijke en systeemvragen.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Onderzoek naar maatschappelijke haalbaarheid en acceptatie afhankelijk van de mate van inzet en toepassingsvorm van CCS.	- Verhogen efficiency door verbeterde sorbents en procesintegratie; - Proces-integratie bij specifieke sites; - Verbeteren van risicomodellen voor transport en opslag; - Kwaliteitseisen CO₂ ontwikkelen en testen.	- Ontwikkeling en optimalisatie van geschikte opslaglocaties; - Ontwikkelen monitoring programma.

3.6.2 Positionering MMIP**Sectoren**

Voor circulaire en biobased grondstoffen, producten en brandstoffen zijn de volgende sectoren van belang: chemische industrie, raffinaderijen, papierindustrie, afvalverwerkers en basismetalenindustrie. Klimaatneutrale brandstoffen worden met name ontwikkeld voor de transportsector (zie MMIP 9 voor de toepassing van deze brandstoffen). Er zijn bovendien sterke raakvlakken met voedselproductie, meststoffenproductie, en glastuinbouw.

CCS is voor een aantal processen in de industrie de meest voor de hand liggende optie voor de korte termijn. De beschikbaarheid van geconcentreerde CO₂ in grote

hoeveelheden die bovendien dicht bij de kust beschikbaar is, maakt implementatie in de industrie aantrekkelijker dan voor andere sectoren. Voorbeelden zijn de ammoniakproductie, petrochemie (olieraffinage), brandstoffenproductie en staal-industrie.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

De bestaande en historisch sterke petrochemische industrie in Nederland biedt een goede basis voor een transitie naar biograndstoffen en -producten. Grondstoffen en reststromen in de industrie zijn bij uitstek expertisegebieden en toepassings-domeinen waarin Nederland concurrerend kan zijn. De bestaande afvalverwerkende bedrijven zijn goed ontwikkeld en goed gepositioneerd om een snelle start te maken. Samenwerking met buitenlandse partners op het gebied van recycling-technologie lijkt noodzakelijk, zoals met Duitsland, België, Japan en India, waardoor ook de exportmarkt van technologie en services kan worden versterkt.

Biomassaproductie en -verwerking is voor Nederland aantrekkelijk: er is een logistiek netwerk van wereldklasse, met een omvangrijke, gevestigde industrie en een fors volume elektriciteitsopwekking. Bovendien heeft Nederland een sterke kennispositie op het gebied van chemie- en biomassaproductie en -verwerking, met een grote traditie in vierkantsverwaarding en cascadering.

Voor CCS zijn een aantal randvoorwaarden in Nederland duidelijk aanwezig. De grote CO₂-bronnen zijn geclusterd in vijf regio's, waarvan vier langs de kust en de potentiële CO₂-opslagmogelijkheden zijn op relatief korte afstand van de kust aanwezig. Bovendien is er veel voorwerk verricht in het CATO1- en CATO2-programma, waardoor de mogelijkheden in de ondergrond en rondom de technologie goed in kaart zijn gebracht. Een mogelijke zwakte is dat projecten tot nu toe niet tot demo's hebben geleid, en dat het maatschappelijk en politiek draagvlak voor CCS beperkt is.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Voor circulaire en biobased grondstoffen en producten is de volgende samenhang aanwezig: Grondstoffenakkoord en de vijf transitieagenda's circulaire economie, NWA routes Circulaire Economie, Materialen. De Topsectoren Chemie, Creative Industrie (CIRCO programma), Logistiek, HTSM en Energie zijn allen van belang voor dit onderwerp. Europees is vooral het Biobased Industries Consortium van belang, met hun research agenda (SRIA).

Voor CCS is in nationaal verband een sterke verbinding tussen TKI's Nieuw Gas en Energie & Industrie van de Topsector Energie, het CATO2-programma, de onderzoeksactiviteiten van ECN/TNO, en de verbinding met het fundamentele onderzoek van NWO (zoals DeepNL programma). In internationaal verband bestaan er goede relaties en sterke betrokkenheid met het H2020-programma (diverse projecten), Mission Innovation (CCS-groep), ERA-ACT, ETP-ZEP, CLIMIT (NL-Noorwegen) en UKCCSRC (NL-VK). Een aantal in Nederland relevante bedrijven neemt deel aan de Alliance to End Plastic Waste (AEPW): DSM, Dow, Exxonmobil, LyondellBasell, Sabic, en Shell. Circulair gebruik van plastic is een van de speerpunten van dit initiatief.

Strategie internationaal

In dit MMIP wordt Europese samenwerking verwacht, vanwege de grote import- en exportstromen van grondstoffen en producten, naast ketensamenwerking in de regio's en technologische samenwerking binnen consortia. Voor biobased grondstoffen en producten zijn in Europa het Biobased Industries Consortium en de bijbehorende BBI JU belangrijke platforms.

Voor CCS heeft Nederland een vooraanstaande positie en die verder uitgebouwd kan worden als het lukt om de eerste demo in NL in 2025 te laten plaatsvinden. Tevens kan Europees optimaal gebruik worden gemaakt van elkaars expertise en onderzoeksfaciliteiten (bijvoorbeeld Mongstad/Noorwegen) om sneller en tegen lagere kosten vooruitgang te boeken.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Het innovatiesysteem voor circulaire en biobased grondstoffen en producten is nog niet volwassen. Dit betekent dat ketensamenwerking en samenwerking in innovaties extra aandacht nodig hebben. Ook zal naar verwachting de machtsverhouding in waardeketens veranderen en zullen nieuwe partijen aanhaken. Dit betekent dat ook in de toekomst dit innovatiesysteem blijvende aandacht vereist.

Het innovatiesysteem rondom CCS heeft in de afgelopen tien tot twaalf jaar goed gewerkt. De CATO-programma's 1 en 2 waren hierbij een belangrijk samenwerkingsverband. Het is wenselijk om de community uit te breiden met relevante industrieën die CCS willen toepassen. Voor transport en opslag vinden via EBN en Gasunie reeds activiteiten plaats die uitstekend passen in de ontwikkeling van deze lijn. De afvalsector (AVT's) zijn momenteel actief op het gebied van CCU en kunnen als goed voorbeeld dienen voor de industrie rond het afvang proces.

3.7 MMIP 7. CO₂-vrij industrieel warmtesysteem

Missie

De warmtevoorziening van de industrie voor alle temperatuurniveaus is in 2050 volledig CO₂-vrij. In 2030 is door Power-to-heat oplossingen en inzet van duurzame warmtebronnen minimaal 5,3 Mton CO₂-emissie reductie en een energiebesparing van 93 PJ bereikt⁴. Innovaties tot 2030 zijn gericht op het versneld toegepast krijgen van warmtepompen tot 130 °C, en warmtetransformatoren en damprecompressie tot zeker 300 °C. Voor het traject na 2030 zal een verdere versnelling bereikt worden door uitrol van technologie in het hoogste temperatuursegment (boven 300 °C), door kennis van de systeemfunctie van warmte in een duurzaam energiesysteem en door kennis om niet-technologische barrières rond implementatie weg te nemen.

3.7.1 Wat beoogt dit MMIP?

De omslag naar een 100 procent CO₂-vrij warmtesysteem voor de industrie is niets minder dan een revolutie. Warmte wordt nu voornamelijk opgewekt uit fossiele brandstoffen (gas, olie, kolen) en cascadeert van hoge naar lage temperatuur door de processen waarna het aan de omgeving afgegeven wordt. Deze praktijk moet omgebouwd worden naar een systeem met maximale toepassing van circulaire van warmte; opwaarderen in plaats van emitteren naar het milieu. Naast hergebruik binnen de plant of site wordt ook uitkoppeling naar andere gebruikers (tuinbouw, gebouwde omgeving) meegenomen in de optimalisatie. Primaire opwek moet daarbij uit 100 procent duurzame bronnen komen.

Tot 2030 richt innovatie zich op het versneld beschikbaar krijgen van technologie voor temperaturen tot ongeveer 300 °C (warm water en lage tot middendruk stoomsystemen) door standaardisatie, modularisatie en projectmatige aanpak voor ontwerp, ombouw en integratie in de bestaande industrie. Tegelijkertijd wordt technologie ontwikkeld die na 2030 in het hoogste temperatuursegment (boven 300 °C, hogedruk stroom, warmte uit branders) voor een omslag zorgt. Versnelling volgt uit ontwikkeling van ontwerptools die rekening houden met de systeemfunctie van warmte, door kennisopbouw over niet-technologische barrières bij collectieve besluitvorming, en door het betrekken van alle stakeholders in learning communities.

4 Doelstellingen als vastgesteld door de cross-sectorale werkgroep Power-to-Heat.

Op het gebied van benutting van restwarmte en toepassing van geothermie liggen er verbanden met MMIP 4 (gebouwde omgeving en glastuinbouw) en MMIP 13 (systeemaspecten van warmte en infrastructuur).

Doelstellingen van dit MMIP

Doelstelling van dit MMIP is om een omslag te bereiken in de omgang met warmte. Dit gebeurt door innovatie en praktijk actief te koppelen, in een breed gedragen cross-sectoraal programma. Hybride leeromgevingen worden opgezet in cross-sectorale samenwerkingen waar werken, leren en innoveren samenkomen. Hierbij wordt gedacht aan dertig industriële proeftuinen voor warmte. Deze zorgen voor technologieontwikkeling, opbouw van competenties en kostprijs- en risicoverlaging.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.7.1. Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

7.1 Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Terugwinning en opwaarderen van warmte vanaf 600 °C.	- Concepten voor kosten-effectieve systemen met warmtepompen, mechanische damprecompressie of warmte opslag voor processen van 80 tot 300 °C.	- Opschaling van warmtepompen (boven 130 °C) naar meer dan 1 MWe vermogen; - Versnellingsmiddelen voor implementatie van MDR; - Demonstratie van flexibele slimme WKK's.	- Verlagen van de kostprijs en standaardisatie warmtepompen tot 130 °C; - Kostenverlaging door innovatie in de toeleverende keten van OEM's, systeem-bouwers, installatiesector.
7.2 Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Toepassing van warmte opslag en restwarmte transport in/via de ondergrond.	- Uitvoeren van proefprojecten voor Ultra-diepe geothermie.	- Demonstreren conventionele geothermie voor proceswarmte met warmtepompen en warmtesystemen.	-
7.3 Toepassing klimaat-neutrale brandstoffen			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Brandertecnologie voor nieuwe brandstoffen; - Modelleren van massa- en warmteoverdracht.	- Technologie voor hogetemperatuur warmteopwekking uit waterstof.	- Demonstratie van procesgeïntegreerde warmte uit groen gas en biomassa.	- Eerste toepassingen HT warmteproductie uit biomassa reststromen.

7.4 Systeem-concepten voor warmte en koude			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Verkenning van warmte en koude voor energieopslag en flex capaciteit; - Collectieve besluitvorming in socio-technische transitieprocessen.	- Geïntegreerde ontwerp- en optimalisatietools voor ombouw van industriële energiesystemen, inclusief interactie tussen bedrijven en uitkoppeling naar andere sectoren.	- Aanpak voor quick-wins: programmatische ombouw naar CO₂-vrije productielijnen in de industriële omgeving.	- Kostenverlaging via seriematige productie/assemblage van modulaire warmtepomp-systemen.

7.5 Maximalisering van proces-efficiency			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Proces integratie in ketens en op sites.	- Geïntegreerde processen met slimme utility-proceskoppeling; - Regelalgoritmes voor proces-optimalisatie.	- Herontwerp van energiesysteem industrie sites; - Slimme man-machine interactie en operator support tools voor procesoptimalisatie naar minimaal energiegebruik.	- Stimuleren site-specifieke studies en retrofit opties; - Uitleg van ICT toepassingen voor actieve energie monitoring en control.

3.7.2 Positionering MMIP

Sectoren

Deze missie betreft de procesindustrie met hoge-temperatuur processen en warmteoverschot, geconcentreerd in de vijf industrie clusters. Daarnaast zijn er veel kleinere energiegebruikers die relevant zijn zoals specialty chemicals, food, papier, afvalverwerking, fijnmetaal, glas en keramiek. De toeleverende keten bestaat uit adviesbureaus, ingenieursbureaus en EPC contractors, systeembouwers van productielijnen, technologie leveranciers voor de procesindustrie, en leveranciers van apparaten en componenten zoals warmtepompen, compressoren, warmtewisselaars en aanverwante subsystemen. Voor elektrificatie, aanleg van warmtenetten, en voor site optimalisatie is betrokkenheid van infra (gas, elektriciteit, warmte), utility operators en de (groene) energiesectoren van groot belang.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Nederland heeft een cultuur die cross-sectorale samenwerking versterkt. Er is een sterk kennisecosysteem voor de procesindustrie dat het fundament biedt waarop de transitie naar 100 procent CO₂-vrije warmte opgebouwd kan worden. Nederland heeft een hoogwaardige maakindustrie die marktklare producten (warmtepompen en geïntegreerde systemen met warmtepomptechnologie) kan ontwikkelen en leveren, en een aantal sterke engineering bedrijven. De samenwerking over de vele (sub)sectoren is echter beperkt. Het traject van apparaat naar marktcreatie is nog

onderontwikkeld. Academische expertise over apparatenbouw is daarnaast de afgelopen jaren afgenomen. Het is zeer belangrijk dat deze expertise over de grenzen van disciplines, sectoren en culturen weer wordt opgebouwd.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Tabel 3.7.2. Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's.

Programma/agenda	Thema's
TKI E&I, Nieuw Gas, Kennisinstellingen	TKI Programmalijnen Warmte, Geothermie, Groen gas, waterstof; TNO en ECN part of TNO met een lange historie op warmte technologie. Power-to-Heat in ECCM, Voltachem, verschillende academische programma's;
Kennis netwerken	ISPT programma warmte en systeem integratie, NL-GUTS (scheidingstechnologie), PIN-NL (proces intensificatie), NWGD (drogen), NMG (membraantechnologie);
Regionaal	Deltalinqs Energy Forum en Smartport (Rotterdam), Smart Delta Resources (Terneuzen), Chemelot, Chemport Europe (Regio Noord);
EU (H2020, SET Plan WGs)	SPIRE –Sustainable Process Industries for Resource and Energy efficiency, SETPlan (Strategic Energy Technologies Plan) Action Group 6 Industrial Energy Efficiency;
IEA TCP-IETS	Industrial Energy Technologies and Systems - Annex Industrial Electrification - door Nederland geleide samenwerking.

Strategie internationaal

De Nederlandse maakindustrie en engineering- en dienstensector kan een koppositie verwerven in het ombouwen van de warmtehuishouding van de industrie. Hiervoor is buiten Nederland nog relatief weinig aandacht. Dit kan versterkt worden door samen te werken met partijen buiten Nederland met een gevestigde reputatie in de technologische sector en met worldclass OEM's die grootschalige systemen en componenten leveren tegen lage kostprijs. Er ligt een kans om via gezamenlijke demonstratie en uitrol activiteiten een technologie- en dienstenportfolio op te bouwen dat exportmogelijkheden biedt aan de Nederlandse maakindustrie.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

De afgelopen twintig jaar heeft onder programma's van het TKI Energy & Industry (en voorlopers) de focus gelegen op technologieontwikkeling, bijvoorbeeld met stoomleverende warmtepompen tot 130 °C. Dit is ontwikkeld met het Nederlandse mkb en kennisinstellingen en gedemonstreerd bij diverse industrie. Uitrol en marktcreatie heeft op zich laten wachten, met name door complexiteit van en onbekendheid met de technologie, lange terugverdientijden en beschikbaarheid van investeringskapitaal. Kennisdeling en het verbinden van eindgebruikers, technologie- en systeemleveranciers in consortia is hiervoor cruciaal.

3.8 MMIP 8. Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen

Missie

In 2050 zijn productieprocessen volledig klimaatneutraal en maximaal geëlektrificeerd. Onderweg naar 2050 komen een aantal radicale vernieuwde processen beschikbaar, die het warmtegebruik drastisch terugdringen en intrinsiek geen CO₂-emissies meer hebben.

3.8.1 Wat beoogt dit MMIP?

Hernieuwbare energie komt voornamelijk in de vorm van elektriciteit beschikbaar. Het is daarom zinvol om industriële processen waar mogelijk aan te drijven met elektriciteit. De processen kunnen bovendien worden geïntegreerd in het duurzame energiesysteem en flexibeler worden bedreven. Daarmee kan de industrie een belangrijke rol vervullen bij de levering van flexibiliteit aan het elektriciteitsstelsel. Een sterkere koppeling tussen de uitrol van wind op zee en de elektrificatie van industriële clusters is daardoor een potentiële win-win situatie. Industriële processen spelen zo een sleutelrol in Power-to-heat, Power-to-molecules en Power-to-fuels.

Digitalisering en elektrificatie zijn samen bouwstenen voor radicaal vernieuwde productieprocessen. Richting 2050 bieden deze kansen voor verhoogde efficiency, decentrale productieprocessen en on-demand productie.

Doelstellingen MMIP

- Investeringskosten grootschalige water elektrolyse zijn gedaald naar €350/kW in 2030, waardoor een waterstofprijs van €2/kg in 2030 en €1/kg in 2050 binnen bereik komt;
- Kosteneffectieve elektrochemische productieprocessen voor basischemicaliën en brandstoffen zijn in 2030 ontwikkeld en klaar voor opschaling naar bulk processen;
- Energie-efficiënte elektrische aangedreven processen zijn in 2025 standaardtechnologie;
- Digitalisering van processen is als best practice geaccepteerd en breed uitgerold in 2025;
- Minimaal drie radicale doorbraken in CO₂-intensieve processen zijn op pilotschaal bewezen.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.8.1. Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

8.1 Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen De productie van waterstof door water-elektrolyse speelt een belangrijke rol als elektrificatie-optie. Kostenreductie is daarbij essentieel. Daarnaast is elektrochemische conversie een veelbelovende route naar potentieel klimaatneutrale productieprocessen van basischemicaliën en (transport)brandstoffen. Binnen dit deelprogramma vindt ook onderzoek en ontwikkeling plaats naar dragers van waterstof en productieprocessen voor synthetische brandstoffen (Power-to-fuels of electrofuels) ten behoeve van vervoerwijken binnen de mobiliteitssector waar elektriciteit of waterstof geen alternatief zijn. Belangrijke doelen daarbij zijn ontwikkeling van geschikte energiedragers/brandstoffen voor verschillende toepassingen, verlaging van de kosten van productie en verhoging van energetische rendementen. De maatschappelijke vraag naar hernieuwbare brandstoffen vanuit hun toepassing is ondergebracht in MMIP 9. De activiteiten rond de rol van waterstof en elektrochemische conversie voor grootschalige energieopslag en -transport in het energiesysteem vinden plaats in MMIP 13.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Nieuwe katalysatoren en membraan-materialen voor verhoogde levensduur en rendement; - Stabieler, selectievere en efficiënte elektrodes en reactoren voor elektrochemie; - Alternatieve conversies voor productie van klimaatneutrale waterstof; - Nieuwe energiedragers, inclusief waterstofdragers.	- Elektrochemische productie van kleine moleculen; - Opzet fieldlab voor elektrochemie en p-to-X; - Superkritische vergassing van biomassa; - Selectieve thermo- en plasmolyse van water, CO₂ en CH₄; - Kosteneffectieve fabricagetechnologie elektrolyzers; - Hoge temperatuur elektrolyse en warmteintegratie.	- Aantonen van duurbedrag en piloting van elektrolyse op MW schaal; - Integratie en flexibilisering elektrochemische processen in het energiesysteem.	- Regionale uitrol klimaatneutrale waterstof op 10-100 MW schaal in industriecusters; - Eerste ontwerp GW elektrolyse plant.
8.2 Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen Elektrificatie van processen vereist ontwikkeling van elektrische apparaten (compressoren, pompen, aandrijvingen) en hun inpassing in systemen, en proces-geïntegreerde equipment.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Processen met selectieve elektrische inkoppeling.	- Applicatie membraanscheidingen; - Opschaling van elektrisch drogen.	- Verbreding toepassing magnetische koppelingen en elektrische aandrijvingen.
8.3 Flexibilisering en digitalisering Digitalisering van processen levert sturingsmogelijkheden voor energie flows, productkwaliteit, en flexibilisering. Processen kunnen hierdoor efficiënter worden, maar ook worden aangepast aan de flexibiliteitsbehoefte van het toekomstige energiesysteem.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Regelalgoritme voor niet-lineaire verbanden.	- Flexibiliseren productiecapaciteit elektrisch gedreven processen; - Applicatie testen demand response strategieën.	- Applicatie verbreding advanced process control; - Digital twinning van productie processen en sites.

8.4 Radicaal vernieuwde processen

Productieprocessen kunnen efficiënter worden gemaakt via incrementele stappen, maar voor volledige CO₂-emissiereductie zijn vaak radicaal vernieuwde of nieuwe productieprocessen nodig, die intrinsiek energie- en/of grondstof-efficiënter zijn. Voorbeelden zijn alternatieve routes naar olefines, solar fuels, watervrij papier maken of plasma-gebaseerde waterstofproductie.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Katalytische en elektrische routes naar olefines en aromaten; - Solar fuels/biosolar cells.	- Alternatieve technologieën voor watervrij papier proces; - IJzerproductie via directe reductie; - Verwarmingselementen voor elektrische fornuizen.	- Duurtesten Hisarna voor verlaagde CO₂ emissies staalproductie.	-

8.5 Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

Elektrificatie van industriële processen heeft vanwege de schaal van het energiegebruik grote invloed op de maatschappij, via de elektrische infrastructuur, de elektriciteitsmarkt, en de wereldmarkt van energiedragers.

De activiteiten in dit deelprogramma zullen worden uitgevoerd in samenhang met de activiteiten op systeemniveau in MMIP 13.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Impact elektrificatie op het industriële energiesysteem; - Invloed van infrastructuur, implicaties voor industrieclusters.	- Kennisontwikkeling van geopolitieke consequenties; - Methodes voor verdeling van lasten en opbrengsten tussen bedrijven en individuen.	- Wegnemen barrières voor Power-to-X chemie en in brandstof ketens.	-

3.8.2 Positionering MMIP

Sectoren

Nederland heeft een sterke procesindustrie, met een grote rol voor de chemische industrie en raffinage. Deze deelsectoren zijn grootgebruikers en producenten van warmte, waterstof en fossiele brandstoffen. De producten van de meeste industriële processen zijn ook in 2050 onmiskenbaar onderdeel van onze samenleving, waardoor de ombouw van deze industrie noodzakelijk lijkt. Elektrificatie van warmte en elektrolyse naar waterstof in de industrie bieden kansen voor afzet van grote volumes hernieuwbare elektriciteit (wind op zee). Digitalisering van processen is een cross-over tussen de ICT-sector en de industrie. Elektrochemische processen kunnen leiden tot crossovers van chemiebedrijven met de elektriciteitssector. Wanneer elektrochemische omzettingen worden gebruikt voor rest- of afvalstromen ontstaan ook crossovers met bijvoorbeeld de afval- en staalsector. De transitie naar een duurzame procesindustrie leidt daarom potentieel tot vervaging van de grenzen van traditionele (deel)sectoren.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

De industrie is sterk geclusterd aan de kust, waardoor offshore hernieuwbare elektriciteit tegen lage, maatschappelijke kosten kan worden aangevoerd. Nederland heeft een lange historie in procestechnologie en katalyse, en recenter ook in waterstofonderzoek en piloting. Bovendien wordt Nederland door multinationals gezien als ideale proeftuin voor duurzame innovaties. De Nederlandse industrie heeft de afgelopen jaren geïnvesteerd in een kennispositie op het gebied van elektrificatie. De elektriciteitssector en de industrie zijn daardoor sterker verbonden.

Nederland heeft aan de toeleverende kant een sterke engineering sector en toeleverende industrie voor nieuwe high-tech procestechnologie. Benutten van de kennispositie voor de ontwikkeling en levering van componenten en engineering voor integratie in systemen is kansrijk. De kennisbasis bij Nederlandse kennisinstellingen op elektrochemie en elektrochemische procestechnologie en equipment ontwikkeling is de laatste jaren sterk verbeterd, maar is nog steeds smal. De doorvertaling naar grootschalige toepassingen van elektrochemische conversietechnologie blijft nog achter.

Mogelijke zwaktes zijn de elektriciteitsinfrastructuur die nog onvoldoende is ingericht op grootschalige elektrificatie, en vergelijkbare activiteiten van andere landen op dit gebied. Nederland heeft bijvoorbeeld geen grote technologieleveranciers voor electrolyzers.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Groene waterstof en elektrolyse worden als enabling technology genoemd in de nationale Routekaart Waterstof en het adviesrapport ECCM. Ook internationaal wordt dit zo gezien door onder andere Dechema en World Energy Council.

Dit MMIP kan voortbouwen op bestaande samenwerkingsverbanden: Voltachem (initiatief TNO en ECN, ondersteund door TS Chemie en Energie), ECCM (Initiatief TS HTSM, Chemie en Energie), diverse Fieldlabs en pilotinfrastructuur, ISPT, en het e-Refinery programma van de TU Delft. De lopende Topsector Energie projecten (TKI's Energie & Industrie en Nieuw Gas en Chemie) en NWO projecten zijn een goede basis voor dit MMIP.

Internationaal zijn contacten gelegd met het Duitse Kopernikus programma, onder andere. Power-to-X en SynEnergie. In het kader van de trilaterale samenwerking tussen Nederland, Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen wordt samenwerking op elektrochemie en elektrische kraakprocessen verkend. In de Europese innovatiepro-

gramma's zijn met name de Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU) en de PPP SPIRE van belang.

Strategie internationaal

De Nederlandse industrie kenmerk zich door sterke verbanden tussen bedrijven binnen de clusters en een open overlegstructuur. Dit is internationaal uniek en kan worden gebruikt om sneller te innoveren. Nederland kent een sterke maakindustrie die toelevert aan proces integrators. Leveranciers van elektrificatie apparatuur kunnen zo met engineering bedrijven en integrators internationaal onderscheidend zijn. Het is daarom van belang om Nederland als proeftuin voor de wereld te positioneren.

Met name voor elektrochemie is het van belang om strategische afspraken te maken met de Duitse partners. De industrie in Nederland kent een andere product-mix dan de Duitse, waardoor nationaal andere accenten gelegd kunnen worden. De partners op het gebied van waterstof zijn met name producenten en gebruikers van waterstof in de industrie, bedrijven uit de gaswereld (infrastructuur, transport) en een kleiner aantal toeleveranciers van apparatuur. Grote fabrikanten van electrolyzers ontbreken. Op dit vlak wordt gestreefd naar internationaal aansprekende pilots en demonstraties, die Nederland op de kaart zetten als proeftuin.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Het innovatiesysteem rond elektrificatie is de afgelopen jaren sterk in kracht gegroeid. Naast industriële vragers zijn aanbieders van technologie, gas- en elektriciteitsbedrijven en netbeheerders aangesloten. De uitdaging is nu om voldoende focus aan te brengen, zodat consortia die bestaan uit de hele waardeketen gaan trekken aan concrete oplossingen. Rond elektrolyse naar waterstof is dit reeds het geval, en rond elektrisch kraken begint dit consortium sterk vorm te krijgen. Voor de korte termijn elektrificatie opties (aandrijvingen) en Power-to-heat oplossingen is het technologie-aanbod voldoende georganiseerd, maar zijn de gebruikers nog niet altijd voldoende aangesloten.

3.9 MMIP 9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit

Missie

Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050.

3.9.1 Wat beoogt dit MMIP?

Doel is om voor alle vervoermiddelen elektrische aandrijving te ontwikkelen (incl. de infrastructuur voor het laden of vullen). Tegelijk zet het programma in op het verduurzamen van de mobiliteit waar nog geen elektrische mogelijkheden zijn door de inzet van hernieuwbare brandstoffen met een lage CO₂-intensiteit en energie-efficiënte vervoermiddelen.

Het betreft onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van technologie voor batterij- en brandstofcel-elektrische aandrijving van voer-, vaar- en vliegtuigen en mobiele werktuigen. Daarbij is de productie en distributie van (duurzaam opgewekte) elektriciteit, waterstof en chemische dragers van waterstof (bijvoorbeeld ammoniak, mierenzuur en methanol) van belang. Hiermee raakt de energievoorziening van duurzame voertuigen steeds meer verweven met het toekomstige duurzame energiesysteem waarmee ook andere energie vragende sectoren worden bediend. Laadinfrastructuur en de ontwikkeling van mobiliteitsdiensten, slim draadloos laden, elektrische en autonome voertuigen kunnen niet los van elkaar gezien worden. In de komende periode zullen deze ontwikkelingen elkaar in een snel tempo opvolgen en versterken.

Verduurzaming van mobiliteit behoeft naast elektrificeren ook verduurzaming van vervoerwijzen die nog decennia lang op verbrandingsmotoren blijven aangewezen. Om deze van duurzame energie te voorzien wordt technologie ontwikkeld voor de distributie en toepassing van klimaatneutrale brandstoffen, zoals biobrandstoffen en synthetische brandstoffen (Power-to-X of electrofuels). Ontwikkelingen met betrekking tot de productie van deze brandstoffen worden geprogrammeerd onder MMIP 6 (biobrandstoffen) en MMIP 8 (waterstof en synthetische brandstoffen).

Aan de gebruikskant worden zuinigere verbrandingsmotoren (m.n. voor zwaardere toepassingen zoals vrachtwagens, schepen, mobiele werktuigen en vliegtuigen), aerodynamische vormgeving, lichte materialen, zuinige hulpsystemen (auxiliaries, waaronder bijvoorbeeld ook airco's van personenauto's en koelsystemen voor geconditioneerd vervoer) en zuinige banden en asfalt ontwikkeld en toegepast.

Door de combinatie van zuinige motoren en nieuwe en hoge blends van (uiterlijk in 2050 voor 100 procent) hernieuwbare brandstoffen in vracht, binnenvaart, zeevaart en luchtvaart kan zo het zwaar transport verduurzamen. Deze motoren moeten ook zeer lage emissies van andere stoffen dan CO₂ hebben, zoals fijnstof en NO_x.

Doelstellingen MMIP

- 1,9 miljoen zero-emissie voertuigen in 2030 en alle nieuwverkopen van personenauto's vanaf 2030 zero-emissie;
- Een derde van de benodigde energie voor mobiliteit komt in 2030 uit hernieuwbare energiebronnen (elektriciteit, H₂, biobrandstoffen of synthetische brandstoffen).

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Onderstaande tabel geeft een (niet-uitputtend) overzicht van de innovatie-uitdagingen.⁵ Voor de doelstellingen van dit MMIP is de beschikbaarheid van voldoende, betaalbare en goed toepasbare hernieuwbare brandstoffen en energiedragers een belangrijke voorwaarde. De opgave met betrekking tot technische ontwikkelingen voor de productie van biobrandstoffen, waterstof en synthetische brandstoffen (Power-to-X) zit bij de sectoren energie, industrie en landbouw. Deze opgaven zijn in deze IKIA belegd in MMIP 6 en 8, maar moeten wel integraal benaderd worden met inachtneming van de behoeften en toepassingseisen van de mobiliteitssector.

Faciliteiten voor validatie/verificatie van opkomende aandrijf, voertuig- en energietechnologieën (toegankelijk voor kennisinstellingen en bedrijven) en een organisatie en bijbehorende kennisbasis voor keuring / toelating van nieuwe producten en diensten zijn randvoorwaarden voor technische innovatie binnen dit MMIP in Nederland.

⁵ De inzet op nieuwe technologieën vraagt naast technologische ontwikkelingen ook om sociale innovatie, bijvoorbeeld op gebied van gedrag en regelgeving. Deze zitten aanvullend in MMIP 10.

Tabel 3.9.1. Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

9.1 Zero Emissie aandrijftechnologie en voertuigen			
Ontwikkelen, demonstreren en implementeren van (technologie voor) ZE voertuigen in verschillende modaliteiten.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Nieuwe batterijtechnologie met zeer hoge energie-inhoud (> 350 Wh/kg) en lage prijs (< 70€/kWh); - Technologie voor kostenreductie bij brandstofcellen; - Verbeterde opslagsystemen voor elektriciteit en waterstof; - Elektrische aandrijving voor luchtvaart (het gaat hier ook om aerodynamica, materiaalgebruik, vluchtroutering en organisatie van het vliegen).	- Ondersteunende technologieën voor batterijen (o.a. batterijmonitoring en management); - Modellen voor recycling van batterijen; - Batterij-elektrische, hybride en brandstofcel-elektrische aandrijving voor zwaar transport (weg, maritiem en luchtvaart); - Energie-efficiënte elektrische auxiliaries en integratie van fotovoltaïsche systemen in voertuigen.	- Batterij-elektrische, hybride en brandstofcel-elektrische aandrijving voor zwaar transport; - Optimalisatie van energienetwerk management binnen voertuigen (aandrijving en auxiliaries) en m.b.t. systeeminteracties tussen voertuig, energienetwerk en verkeerssysteem; - Nieuwe voertuig-concepten (bijv. cargo light electric vehicles (LEV)).	- Kennisvragen m.b.t. uitrol van elektrische aangedreven voer- en vaartuigen; - Ontwikkeling diensten en services rond elektrisch rijden en elektrische deelauto's.
9.2 Energiedistributie voor elektrische voer- en vaartuigen			
Ontwikkelen, demonstreren en toepassen van infrastructuur en diensten voor het laden van elektriciteit.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Inductief laden; - Verkenning e-highway (voor vrachtverkeer) en dynamische oplaadoplossingen; - Verkenning autonoom elektrisch rijden en laden.	- Slimme laad-infrastructuur en interactie met duurzame energieopwekking en (smart)grids (V2G, V2H laden), incl. techniek, systeemontwerp, standaardisatie en communicatie, diensten en business modellen.	- Snelladen en laadpleinen; - Doorontwikkeling en systeemoptimalisatie m.b.t. ZE bussen; - Infrastructuur voor elektriciteit t.b.v. binnenvaart.	- Optimaliseren infrastructuur voor distributie en laden van elektriciteit t.b.v. elektrische voertuigen, incl. integratie in ruimtelijk ordening; - Diensten rond slim laden van elektrische voertuigen in verschillende modaliteiten.

9.3 Distributie van waterstof en andere energiedragers voor brandstofcelvoer- en vaartuigen

Ontwikkelen, demonstreren en toepassen van infrastructuur en diensten voor het tanken van waterstof en/of dragers voor waterstof (bijv. ammoniak, mierenzuur en methanol).*

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Nieuwe opslagtechnologie voor waterstof en andere energiedragers (bijv. mierenzuur en methanol) voor brandstofcelvoer- en vaartuigen. - Reformers om innovatieve dragers voor waterstof weer naar waterstof om te zetten.	- Infrastructuur voor waterstof t.b.v. binnenvaart.	- Ontwikkelen en toepassen van distributie- en tankinfrastructuur voor waterstof (250 vulpunten in 2030); - Ontwikkelen diensten / services rond rijden op waterstof.

9.4 Distributie en gebruik van hernieuwbare, koolstofhoudende brandstoffen

Ontwikkelen, demonstreren en toepassen van technologieën voor distributie en toepassing van geavanceerde (al dan niet synthetische) biobrandstoffen en Power-to-X brandstoffen (electrofuels).**

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Technologie voor thermochemische en biochemische conversieroutes voor productie van duurzame biobrandstoffen t.b.v. de transportsector: o.a. procesvereenvoudiging, vergroting feedstockflexibiliteit, coproductie van chemicaliën en materialen (cascadering / bioraffinage), en maximaliseren van koolstofrendement; - Technische ontwikkelingen voor de productie van synthetische brandstoffen (PtX) incl. carbon capture**; - Kennisvragen t.b.v. de optimale brandstofkeuze en brandstofsamenstellingen in relatie tot de productieketen en eisen van de toepassing in verschillende modaliteiten.	- Technologie voor opslag, distributie en toepassing in voertuigen van innovatieve brandstoffen in pure vorm of hoge blends, m.b.t. o.a. compatibiliteit, veiligheid en durability; - Retrofit-oplossingen voor bestaande motoren, m.n. in zware en niche toepassingen.	- Beperken potentiële negatieve impacts op luchtverontreinigende emissies bij toepassing in verbrandingsmotoren (o.a. katalysatoren).	-

9.5 Zuinige voertuigen

Het ontwikkelen en toepassen van zuinige en schone verbrandingsmotoren voor verschillende modaliteiten en van technologie voor vermindering van het energiegebruik van voer-, vaar- en vliegtuigen.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Geavanceerde verbrandingsconcepten m.n. voor zware toepassingen.	- Technologie voor vermindering van benodigde aandrijfenergie voor wegvoertuigen en schepen; - Alternatieve vliegtuigconfiguraties, betere aerodynamica en lichtere materialen; - Zuinige en schone verbrandingsconcepten/ motoren voor conventionele en nieuwe en hoge blends hernieuwbare brandstoffen in zwaar vrachtverkeer, speciale voertuigen, binnenvaart, zeevaart, luchtvaart en mobiele werktuigen.	- Energiebesparende maatregelen aan trailers en nieuwe voertuigconcepten (o.a. high performance vehicles); - Energie-efficiënte auxiliaries (hulpsystemen voor o.a. verwarming / koeling, rem- en stuurbekrachting); - Het ontwikkelen van wegdekken die tot lagere rolweerstand leiden.	- Incrementele innovaties voor vermindering van energiegebruik (verbeterde motoren, zuinige banden, transmissies, aerodynamica, etc.).

*) NB Innovatie-opgaven m.b.t. conversie en productie van waterstof en waterstofdragers zijn zeer relevant voor mobiliteit. Kennis- en innovatie-opgaven hiervoor worden geprogrammeerd als onderdeel van MMIP 6 (deelprogramma 6.2).

**) NB De meeste innovatie-opgaven m.b.t. innovatieve brandstoffen voor mobiliteitstoepassingen betreffen de keten van winning van feedstocks en productie van brandstoffen. Beschikbaarheid van dergelijke brandstoffen is van groot belang voor een aantal niches in de mobiliteitssector. Kennis- en innovatie-opgaven hiervoor worden geprogrammeerd als onderdeel van MMIP 8 (deelprogramma 8.1).

3.9.2 Positionering MMIP

Nederland heeft op het gebied van biobrandstoffenproductie een (internationaal) sterke positie, zowel in de kennissector als in de industrie, die bouwt op een sterke chemie- en agrisector. Verder is de Nederlandse markt voor met name kerosine en scheepsbrandstof verhoudingsgewijs erg groot door de omvangrijke bunkering. Door de aanwezigheid van een uitgebreide, goed geïntegreerde chemische sector (nu nog op basis van petrochemie), de unieke ligging en de uitgebreide logistieke ervaring en faciliteiten, liggen er goede kansen voor ontwikkeling van Nederland tot een hub voor bio- en synthetische brandstoffen (als onderdeel van een bredere biobased hub) voor Noordwest-Europa. De noodzaak tot intensief, voortgezet onderzoek en ontwikkeling wordt op Europees niveau uitgebreid onderkend en het onderwerp is goed ingebed in Europese programma's waar ook Nederlandse partijen aan deelnemen. De ontwikkelingen kennen een zwaartepunt in de topsectoren Chemie, Agri & Food, Energie en Logistiek.

Nederland is wereldwijd een belangrijke toeleverancier van componenten voor elektrische aandrijflijnen, onder andere voor alle grote automerken. Daarnaast is Nederland met VDL en DAF ook ontwikkelaar van voertuigen in het zware segment, met eigen ontwikkeling van onder andere aandrijflijnen, motoren en motor-managementsystemen. Ook in de aanleg van oplaadinfra en de integratie met het elektriciteitssysteem is Nederland koploper. Nederland kent geen grote eigen light-duty auto-industrie en het is daarmee moeilijk om in deze markt een nieuw product in de markt te zetten. Voor heavy-duty toepassingen is dat wel mogelijk. In de binnenvaart is de Nederlandse maakindustrie een hoofdrolspeler op de Europese markt en breder op maritiem gebied spelen de Nederlandse werven en toeleveranciers een belangrijke rol als 'system integrator'. De ontwikkelingen kennen een zwaartepunt in de topsectoren HTSM, Energie en Logistiek.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Sterktes:

- Internationaal sterke sectoren als high tech, chemie, automotive en energie;
- Nederland heeft haar energieopwekking geprivatiseerd, maar het netwerk is in publiek eigendom. Dat geeft meer ruimte voor ontwikkelen van smart grids;
- Nederland is met VDL en DAF sterk in het zware segment (vrachtwagens, bussen) en kent diverse producenten van light electric vehicles;
- Tachtig procent van de binnenvaart in Europa bestaat uit Nederlandse eigenaren en Nederland kent een sterke scheepsbouwsector;
- Sterke samenwerking tussen de agro- en chemie sector met een aantal internationaal opererende hubs biedt een goede uitgangspositie voor ontwikkeling en productie van hernieuwbare energiedragers voor de transportsector;
- Sterke en brede kennisbasis in de chemische industrie op het gebied van synthetische brandstoffen;
- Goede kennisbasis bij TO2-instellingen en universiteiten.

Zwaktes:

- Nederland is toeleverancier voor de personenauto-industrie, maar kent geen grote eigen auto-industrie;
- Hetzelfde geldt voor vliegtuigbouw;
- In Nederland vindt wel onderzoek aan batterij-technologie plaats, maar geen significante productie van batterijen;
- Onvoldoende financiële commitment vanuit de overheid in de opschaling van nieuwe innovaties, waardoor de echte vermarkting in het buitenland gebeurt.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Dit MMIP bouwt voort op bestaande innovatieclusters en (inter)nationale agenda's.

- Europese programma's met betrekking tot bio- en synthetische brandstoffen:
 - SET plan Implementation Plan – Action 8: Bioenergy and renewable fuels for sustainable transport
 - ETIP Bioenergy – Strategic Research & Innovation Agenda 2018
 - EERA Bioenergy – Strategic Research & Innovation Agenda (draft)
- Brandstofvisie en vier triple helix platforms:
 - FET, batterij elektrisch, <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/2-elektrisch-rijden/informatie-over-elektrisch-rijden/formule-e-team>
 - Waterstofplatform, <https://opwegmetwaterstof.nl/>
 - Biobrandstoffenplatform, <http://platformduurzamebiobrandstoffen.nl/>
 - Bio-LNG platform, www.nationaallngplatform.nl
- Topconsortium voor Kennis- en Innovatie Biobased Economy (TKI-BBE)
- Elektrochemische Conversie & Materialen (ECCM), www.co2neutraalin2050.nl
- Innovatiecluster elektrische mobiliteit, dit is een consortium en project van AutomotiveNL, Vereniging Doet en Stichting ElaadNL
- Nationaal Kennisplatform Laadinfrastructuur
- NWO-instituut DIFFER
- Netherlands Energy Research Alliance
- Roadmaps en vraaggestuurde programma's van TO2-instellingen
- Europese R&I-agenda's zoals H2020

Strategie internationaal

Europa kent een sterke ontwikkeling op het gebied van duurzame mobiliteit. De richtlijn alternatieve tank- en laadinfrastructuur (AFID) en schone voertuigen (CVD) zijn daarbij belangrijke sturende kaders. De EC heeft aangegeven in het kader van implementatie van de AFID richtlijn en de CVD vanaf 2020 onder het nieuwe Multi Annual Financial Framework (MFF) een bedrag van ordegrrootte 0,8 - 1 miljard euro beschikbaar te stellen voor de transitie naar duurzame voertuigen en brandstoffen. Nederland heeft vanuit haar koploperspositie op duurzame mobiliteit sterke invloed op Europees beleid.

Nederland is goed aangesloten op de Strategic Transport Research and Innovation Agenda. Dat is belangrijk omdat hier beïnvloedingsmogelijkheden liggen naar de grote EU fondsen, onder andere Horizon Europe.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Rondom de diverse hernieuwbare energiedragers zijn triple helix consortia actief. Ook zijn er campussen waar technologiepartners samenkomen, zoals de automotive campus. Studententeams van de 3TU's brengen veel partners bij elkaar en zij hebben een grote internationale uitstraling. Verschillende onderwerpen uit dit MMIP zijn al goed verankerd in de roadmaps en onderzoeksprogramma's van de TO2-instellingen (TNO (inclusief ECN), MARIN en NLR). Deze TO2-instellingen voeren veel van dat onderzoek uit in consortia met andere (binnen- en buitenlandse) kennisinstellingen en marktpartijen. Het Platform Duurzame Biobrandstoffen, TKI-BBE, TNO en WUR werken samen aan de vorming van een PPS nationaal biobrandstoffen onderzoekprogramma. Projecten onder de Demonstratieregeling Klimaattechnologieën en -innovaties in transport (DKTI) laten zien dat kennis- en markt-partijen in Nederland elkaar op de onderwerpen uit dit MMIP goed kunnen vinden.

3.10 MMIP 10. Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen

Missie

Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen in 2050.

3.10.1 Wat beoogt dit MMIP?

Het bereiken van een volledig duurzaam mobiliteitssysteem in 2050 vereist ingrijpende systeemveranderingen binnen het mobiliteitssysteem en in (de interactie tussen mobiliteit en) ander sectoren zoals gebouwde omgeving, energie, industrie en landbouw. Door het ontwikkelen van kennis, concepten en ondersteunende technologie voor gedragsgerelateerde maatregelen voor CO₂-reductie kunnen systeemveranderingen worden bewerkstelligd die leiden tot vermindering en verandering van de behoefte aan mobiliteit en verandering van mobiliteits- en rijgedrag.

Om vlot, veilig, comfortabel, duurzaam en betaalbaar te kunnen reizen worden voor personenvervoer nieuwe concepten ontwikkeld waarbij de mobiliteitsbehoefte optimaal wordt bediend door flexibel te switchen tussen verschillende vervoermiddelen (lopen, fiets, OV, (deel)auto). Ontwikkelingen in de ICT en big data bieden de mogelijkheden om mobiliteit op maat aan te bieden. Dit staat ook wel bekend als Mobility as a Service (MaaS).

Systeeminnovaties binnen het goederenvervoer richten zich op beperking van (de groei in) het aantal ladingkilometers en een efficiënte verdeling van die vervoersbehoefte over verschillende modaliteiten. Digitalisering en data delen, de inzet van Internet of Things, Physical Internet en advanced data analytics spelen hierbij een belangrijke rol en leiden tot Self Organizing Logistics (SOL). Innovaties zoals zelfrijdende en zelfvarende vervoermiddelen in de stad, in de haven en voor het lange afstandsvervoer worden hier in de toekomst aan toegevoegd. Alternatieve opties voor goederenvervoer, zoals buizentransport (incl. hergebruik bestaande infrastructuur) en 'exotische concepten', zoals hyperloop, worden verkend om te zien of hiermee op termijn de snelheid en duurzaamheid van goederentransport kan worden verhoogd. Binnenstedelijk is er een sterke ontwikkeling om de logistiek zo snel mogelijk zero emissie te maken, door minder bewegingen, andere vormen van logistiek en transport (waaronder fiets) en vergroenen/elektrificeren van de vloot.

Het effectief managen van deze transitie vraagt om een adaptieve programmering van overheidsbeleid en van strategische investeringen door sectorpartijen. Juist

omdat het potentieel disruptieve in plaats van incrementele veranderingen betreft, zijn innovaties nodig in beleids- en transitie-ondersteunende kennis, methoden en modellen. Dit omvat enerzijds kennis en tools voor ex ante evaluatie van de effecten van mogelijke maatregelen vanuit een integrale benadering, waarbij naast CO₂ ook effecten op luchtkwaliteit, geluid, bereikbaarheid, ruimtegebruik, economie en andere relevante aspecten worden meegenomen. Anderzijds gaat het om instrumenten voor het ex post monitoren en evalueren van ontwikkelingen en de effectiviteit van geïmplementeerd beleid.

Doelstellingen MMIP

- Acht miljard minder zakelijke (auto)kilometers in 2030;
- In 2030 hebben de 32 grootste gemeenten zero-emissiezones voor stadslogistiek;
- Overheden en sector met state-of-the art kennis in staat stellen de transitie naar duurzame mobiliteit en logistiek effectief te managen.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject MMIP

Onderstaande tabel geeft een (niet-uitputtend) overzicht van de innovatie-uitdagingen.

Tabel 3.10.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

10.1 Weten wat mensen beweegt			
Vergroten van kennis van gedrag ten dienste van de ontwikkeling van innovatieve, effectieve beleidsmaatregelen en snellere implementatie van innovaties.			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek naar gedrag van personen en bedrijven m.b.t. mobiliteit, vervoerwijzekeuze, verkeersgedrag en adoptie van nieuwe technieken en diensten.	- Vertalen van nieuwe gedragskennis naar tools voor effectieve gedragsbeïnvloeding; - Vertalen van nieuwe gedragskennis naar methodieken en algoritmen voor beleidsondersteunende modellen en handelingsperspectief voor optimaal ontwerp van innovatieve technologie en concepten.	-	-

10.2 CO₂-reductie door nieuwe mobiliteitsconcepten voor personenvervoer

Ontwikkelen van nieuwe mobiliteitsconcepten en optimalisering van de potentiële bijdrage van nieuwe en bestaande concepten aan CO₂-reductie door km-reductie en modal shift.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Coöperatief en automated driving voor personenauto's; - Mobility-as-a-Service.	- ITS maatregelen voor personenauto's; - Mobility-as-a-Service.	- Toepassing van gedragskennis t.b.v. effectieve beïnvloeding van mobiliteitsgedrag, modaliteitskeuze en adoptie van nieuwe concepten en technologieën; - Nieuwe concepten en tools voor faciliteren modal shift voor personenvervoer.	- Nieuwe concepten voor bezit en gebruik van personenauto's.

10.3 CO₂-reductie door innovaties in logistiek

Ontwikkelen van nieuwe logistieke concepten en optimalisering van de potentiële bijdrage van nieuwe en bestaande concepten aan CO₂-reductie door km-reductie en modal shift. (De innovaties zijn in algemene termen beschreven, maar kent de uitdagingen in specifieke logistieke ketens zoals versproducten bouwlogistiek. Die kunnen als voorbeeld uitwerking van de programma's worden meegenomen.)

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Supply chain herontwerp; - Self Organizing Logistics (SOL); - Inzet IoT, blockchain en advanced data analytics (o.a. kunstmatige intelligentie).	- Logistieke concepten en enablers voor zero-emissie stadsdistributie; - Korte ketens: logistieke concepten voor 'local for local'; - Logistieke concepten en enablers voor bundelen van binnenlandse en internationale goederenstromen; - ITS, coöperatief en automated driving (incl. platooning) voor vrachtwagens, schepen en treinen.	- Innovaties voor verbeteren ketenregie en horizontale samenwerking; - Concepten en tools voor faciliteren modal shift voor goederenvervoer.	- Digitalisering en data delen.

10.4 Transitie-ondersteunende kennis en tools (publiek perspectief) t.b.v. adaptief programmeren

Ontwikkeling van kennis, methoden en modellen voor ondersteuning van adaptief beleid voor bereiken van klimaatdoelen in mobiliteit. (Ten dienste van MMIP 9 en 10).

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Ontwikkelen en borgen van objectieve, beleidsvoorberedende domeinkennis m.b.t. nieuwe technologie op het gebied van voertuigen, energiedragers, en mobiliteitsconcepten en m.b.t. systeemvraagstukken, disruptieve ontwikkelingen en transitie management.	- Kennis en tools voor systeemvraagstukken vanuit het perspectief van de mobiliteitssector (relatie met de MMIP 13 over systeemintegratie); - Ontwikkelen van innovatieve concepten voor nieuwe beleidsinstrumenten en methoden voor transitie management; - Innovatieve kennis en tools voor het identificeren van handelingsperspectief en het ex ante inschatten van effecten* van technisch en niet-technische CO₂-reductiemaatregelen in personenmobiliteit en logistiek en van beleid** (beleid → respons → effect).	- Methodieken en tools voor monitoring van praktijkverbruik en -emissies van vervoermiddelen; - Kennisbasis en faciliteiten voor validatie / verificatie van opkomende aandrijf-, voertuig- en energie-technologieën en keuring / toelating van nieuwe producten en diensten.	- Kennis en tools voor monitoring en evaluatie (ex post en ex durante); - Methodieken voor opzetten en monitoren van pilots en living labs; - Kennis en tools voor ondersteuning van (de implementatie van) technische innovaties.

*) Naast “traditionele” impacts op CO₂, luchtverontreinigende emissies en geluid en op kosten en baten vanuit maatschappelijk en eindgebruikersperspectief ook impacts op materiaal- en energiegebruik in de waardeketen en bredere impacts op onder andere economie (businessmodellen, verdienpotentieel / werkgelegenheid, competitiviteit), ruimtelijke ordening / ruimtegebruik, bereikbaarheid en inclusiviteit / toegankelijkheid van mobiliteit.

**) Impacts van beleid op de adoptie van innovatieve, disruptieve voertuigtechnologieën en mobiliteitsconcepten door consumenten en bedrijven kunnen niet worden gemodelleerd met klassieke econometrische modellen. Nieuwe modelleermethoden moeten worden ontwikkeld om impacts van autonome ontwikkelingen en van beleid ex ante te kunnen voorspellen.

3.10.2 Positionering MMIP

Ontwikkelingen voor een duurzaam mobiliteitssysteem zijn sterk ICT-gedreven en sluiten aan bij de kracht van Nederland op het gebied van high tech en big data. Het gaat zowel om de ontwikkeling van hardware als de integratie met software in systemen. Het sluit aan bij de Topsector HTSM en ontwikkellijnen in de Topsector Logistiek. Hierbij dient aangetekend te worden dat de technische kant van innovaties met betrekking tot personenmobiliteit wel grotendeels afgedekt in deze topsectoren maar dat voor programmering van de niet-technische kant (onder andere gedrags- en systeemvraagstukken), die voor goederenvervoer wel in de topsector Logistiek worden afgedekt, er nu geen logische landingsplaats is.

Daarnaast kent Nederland een sterke logistieke sector, als poort van Europa en doorvoer naar het Europese achterland. Innovatie in deze sector wordt ondersteund door de topsector Logistiek. De binnen de topsector Logistiek lopende innovatieprogramma's ten dienste van meer efficiënte en robuuste logistiek kunnen meer dan nu het geval is worden toegespitst op het vergroten van de CO₂-emissiereductie die met deze innovaties en de opschaling hiervan behaald kan worden.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Sterktes:

- Sterke high tech sector, grote kennis op het gebied van big data;
- De Industrie sterk in multidisciplinaire samenwerking en inzet op meet- en regelsystemen;
- Sterke logistieke sector met sterke kennisinfrastructuur;
- Nederland fietsland, met uitgebreid fietsnetwerk;
- Goede kennisbasis bij TO2-instellingen en universiteiten.

Zwaktes:

- Vraagt nieuwe infrastructuur en afbouw bestaande infrastructuur;
- Concepten voor zero-emissie stadslogistiek zijn afhankelijk van voldoende aanbod ZE-voertuigen (MMIP 8);
- Marges in de transportsector zijn klein, wat ontwikkelruimte lastiger maakt en implementatie van reeds ontwikkelde concepten vertraagt.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Dit MMIP bouwt door op bestaande innovatieclusters en (inter)nationale agenda's;

- Smart mobility en recente krachtenbundeling smart mobility kamerbrief 4 oktober 2018;
- Zeven regionale pilots Mobility as a Service;
- Smartwayz (<https://www.smartwayz.nl/>), samenwerking van industrie/overheden in Zuid-Oost Nederland op slimme en groene mobiliteit
- Lean & Green;
- TKI Dinalog / Topsector logistiek;
- Goederenvisie IenW;
- Masterplan spoorgoederenvervoer van overheid en spoorsector;
- Digitale transportstrategie goederenvervoer IenW;
- Tour de force, samenwerking tussen VNG, IPO, vervoerregio's en Rijk op stimuleren fiets, <http://tourdeforce2020.nl/>;
- www.Jads.nl, Jheronimus Academy of Data Science, samenwerking tussen de TU/e en Universiteit van Tilburg op het gebied van Data Sciences;
- NWO;

- NWA;
- Roadmaps en vraaggestuurde programma's van TO2-instellingen;
- Europese R&I-agenda's zoals H2020.

Strategie internationaal

Waar het veld nog in ontwikkeling is, geldt dit ook voor de internationale strategie. Nederland sluit zoveel mogelijk aan bij internationale initiatieven, zoals de Global MaaS Alliance. Een van de regionale MaaS-pilots kent een grensoverschrijdende samenwerking in de Benelux. De transportsector kent een sterke internationale competitie. Inzet op verduurzaming en efficiency moeten ook leiden tot een betere concurrentiepositie. Nederland is goed aangesloten op de Strategic Transport Research and Innovation Agenda. Dat is belangrijk omdat hier beïnvloedingsmogelijkheden liggen naar de grote EU fondsen, onder andere Horizon Europe.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Het is ook internationaal een relatief nieuw veld, nog volop in ontwikkeling. De recente krachtenbundeling op smart mobility helpt bij het aanbrengen van focus in onderzoeksprogramma's. Het ministerie van IenW en 7 regio's in Nederland zijn 7 pilots op het gebied van MaaS gestart, om kennis op te doen en de technologie versneld te kunnen opschalen.

Verschillende onderwerpen uit dit MMIP zijn reeds goed verankerd in de roadmaps en onderzoeksprogramma's van de TO2-instellingen (TNO (incl. ECN), MARIN en NLR). Deze TO2-instellingen voeren veel van dat onderzoek uit in consortia met andere (binnen- en buitenlandse) kennisinstellingen en marktpartijen.

3.11 MMIP 11. Klimaatneutrale productie food en non-food

Missie

In 2050 is het systeem van landbouw en natuur klimaatneutraal.

3.11.1 Wat beoogt dit MMIP?

Inzet van dit MMIP is om maximaal bij te dragen aan het realiseren van de reductie van broeikasgasemissies vanuit food en non-food. Hiervoor zal dit MMIP worden ingedeeld in de volgende lijnen:

- Emissiereductie in bodem en landgebruik;
- Emissiereductie methaan en lachgas (veehouderij).

Emissiereductie in bodem en landgebruik: de bodem is de basis voor de landbouwproductie. Voor het klimaat kent de bodem verschillende kanten. Aan de ene kant is het een emissiebron vanwege verbranding van veen in veenweidegebieden en de productie van lachgas in combinatie met bemesting, maar aan de andere kant kan er ook koolstof worden vastgelegd. In deze lijn wordt met kennis en innovatie een bijdrage geleverd aan de verlaging van de emissies en een verhoging van de vastlegging. In de volgende drie richtingen worden daarbij oplossingen gezocht: (1) landbouwbodems en bemesting, (2) koolstofvastlegging en (3) veenweidegebieden.

Emissiereductie methaan en lachgas (veehouderij): op hoofdlijn zijn er twee manieren om de emissie vanuit dieren te verlagen, zorgen dat de dieren minder methaan uitstoten en zorgen dat de emissie uit de mest wordt verlaagd. Deze lijn is daarom in twee sublijnen onderverdeeld: pens- en darmfermentatie, en stal en opslag.

Het MMIP omvat de ontwikkeling van kennis, concepten, ondersteunende technologie en maximale implementatie in de praktijk (van reeds bestaande technieken) voor:

- Vermindering van lachgasemissies uit bodem, bemesting en landgebruik in de landbouw;
- Extra koolstofvastlegging in bodems;
- Vermindering van de emissie uit veenweidegebieden;
- Vermindering van methaanemissie door pens- en darmfermentatie. Voor de 2050 doelstelling betreft dit ontwikkeling van disruptieve innovatie gericht op reductie van methaanemissie door pens- en darmfermentatie;
- Reductie van methaan- en lachgasemissie uit stalsystemen en mestopslag;

- Ontwikkelen van bedrijfseconomisch model om benodigde investeringen in innovaties te realiseren.

Doelstellingen MMIP

Doelstelling van dit MMIP is om de broeikasgasemissies in de sector landbouw en landgebruik maximaal te verminderen. De algemene doelstellingen (reductie van 49 procent in 2030 en 80 tot 95 procent in 2050) worden daarbij ook voor deze sector gehanteerd.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject MMIP

Tabel 3.11.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

11.1 Koolstofvastlegging en vermindering emissies landbouwbodem en bemesting			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Fundamenteel inzicht van de dynamiek in de bodem t.a.v. mineralengebruik en de productie van lachgas; - Een nieuwe generatie bemestingsproducten; - Integraal duurzaam bouwplan met name veredeling van gewassen gericht op minerale benutting en minimaliseren van lachgas-emissies; - Manipuleren C-N dynamiek en landbouwsystemen: fundamentele kennis over opbouw en afbraak van C en N in plant, dier, mest en bodem; - Ontkoppelen C, N (en P) zodat hogere bodem-C niet leidt tot hogere N emissie of verlies bodemvoorraad P.	- Technieken voor precisie-landbouw gericht op adequate bemesting (meststoffen i.s.m. Industrie); - Ontwikkeling van nitrificatieremmers bij bemesting; - Kennisopbouw CO₂ vastlegging in grotere teelten; - Onderzoek naar toepassen van mogelijkheden om minerale processen C, N (en P) te ontkoppelen.	- Vaststellen emissies en variatie in emissie van lachgas bij bemesting en bodembewerking; - Applicatie nitrificatieremmers bij bemesting; - Ontwikkeling gevalideerde technieken voor monitoring CO₂ vastlegging in bodems; - Lichte emissievrije landbouwvoertuigen ontwikkelen voor smart farming i.s.m. Mobiliteit; - Zoeken naar mogelijkheden om de relatie tussen landgebruik en koolstofvastlegging te veranderen en mogelijk ontwikkeling nieuwe combinaties landgebruik (bijv. agroforestry).	- Wat is nodig om meer blijvend grasland en/of landschapselementen te realiseren; - Welke concrete maatregelen (effectief en efficiënt) zijn nodig om de CO₂ vastlegging in de bovenste bouwvoor van landbouwbodems te vergroten; - Welke maatregelen kunnen worden genomen om bodemverstoring en spoorvorming tegen te gaan.

11.2 Vermindering emissies Veenweidegebieden

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Transitie naar ander landgebruik met name in veengebieden met dikke veenpakketten waar technische maatregelen op de lange termijn niet voldoende zijn in combinatie met bodemdaling.	- Integreren van de maatschappelijke opgaven bodemdaling, grondwaterstand en -kwaliteit, verdienvermogen, en landschappelijke waardering; - Onderzoek naar betere verdienmodellen voor melkveehouderij in veenweide gebieden bij toepassing klimaat maatregelen.	- Kennisontwikkeling en innovaties om nieuwe kosteneffectieve technieken praktijkklaar te ontwikkelen; - Vaststellen werkelijke emissies na verschillende veenmaatregelen, en het maken van integrale kosten- en batenanalyses voor individuele bedrijven; - Uitproberen diverse maatregelen tegen veenoxidatie. Vaststellen voor- en nadelen; - Identificeren passende maatregelen per gebiedstype; - Nieuwe natte teelten in de praktijk brengen; - Experimenteren praktijkmaatregelen ter vermindering lachgas.	- Wat is de beste manier om de ondernemers mee te nemen bij de ontwikkelingen die gaan komen?

11.3 Reductie methaanemissie door pens- en darmfermentatie

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek gericht op doorbraken hoe methaanvorming in darm en pens voorkomen kan worden; - Doorbraak in additieven, ingrediënten en krachtvoersamenstelling om pensfermentatie verder te verlagen (dan de huidige generatie additieven).	- Ontwikkelen kennis en innovatie om de emissies van andere herkauwers en eenmagigen te verminderen inclusief hobbymatig gehouden dieren, zoals schapen en paarden.	- State of the art study naar mogelijkheden en effect voeradditieven; - Fokken op dieren met lagere methaanemissie; - Beprijzingsconcepten in economische zin ontwikkelen.	- Wat zijn de beste methoden om de huidige mogelijkheden geaccepteerd te krijgen?

11.4 Reductie emissies uit stal en mestopslag			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Doorbraken in reductie in open stalsystemen gericht op integraal duurzame systemen; - Onderzoek naar mogelijkheden om methaan in stallucht te concentreren; - Integrale aanpak met technische doorbraken in de gehele mestketen voor sterk gereduceerde emissies van lachgas en ammoniak bij opslag, verwerking en aanwending van circulaire meststoffen.	- Doorrekenen en vaststellen voor- en nadelen stalsystemen en nageschakelde technieken (vloertypes, aanzuren, koelen, bellenmixen, methaanoxidatie).	- Bestaande stallen met drijfmestkelders ombouwen naar stallen met dagontmesting en mestscheiding i.r.t. nieuwe meststoffen i.s.m. Industrie; - Maatregelen ter vermindering emissies potstallen; - Beprijzingsconcepten in economische zin ontwikkelen.	- Welke maatregelen zijn nodig om bestaande stallen met drijfmestkelders om te laten bouwen naar stallen met dagontmesting en mestscheiding?

3.11.2 Positionering MMIP

Sectoren

Dit MMIP heeft interactie met de chemische industrie, landbouw, mobiliteit, elektriciteit en de veredeling. De reductie van broeikasgassen bij de productie van food en non-food is een enorme opgave. Het gaat namelijk om biologische processen die onvermijdbare verliezen kennen. Aan de andere kant zijn er in de agrarische productie ook mogelijkheden om extra koolstof vast te leggen. De Nederlandse landbouw gaat uit van de hoge ambitie om te komen tot disruptieve innovaties en maximale bijdragen aan het realiseren van de gewenste reductie.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

De Nederlandse agrifoodsector is mondiaal toonaangevend op het gebied van een efficiënte voedselproductie. Nederland is internationaal marktleider en heeft een sterke, innovatieve en hoogproductieve sector met een zeer efficiënte logistiek en verwerking. Onze kennisinstellingen zijn *world class* en de publiek-private samenwerking tussen bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheden zit ons in de genen.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

- Onderzoekagenda TKI Biobased Economy 2015-2027;
- Kernthema Circulair, topsector Agri&Food;
- Transitieagenda Nederland Circulair 2050 (met grondstoffenakkoord);
- Transitieagenda biomassa en voedsel;

- Nationale wetenschapsagenda's: Duurzame productie van gezond en veilig voedsel, Circulaire economie, energietransitie, Kwaliteit van de omgeving, Materialen;
- Biobased Industries Consortium SRIA;
- A sustainable bioeconomy for Europe (2018 update).

Strategie internationaal

Nederland is internationaal goed ingebed in R&D netwerken (ETP's, JPI's en onderliggende instrumenten via zowel DG RTD als DG Agri in de EU. Hiermee is er een goede en uit te bouwen basis voor kennisontwikkeling en kennisdeling in internationaal perspectief. De internationale competitie is sterk, maar Nederland is tweede exporteur wereldwijd. Inzet op verduurzaming moet leiden tot een betere concurrentiepositie.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Publiek-private samenwerking is een kernbegrip in het Agridomein, in en met een wereldwijd leidende kennisinfrastructuur, een actief MKB, en een fors aantal R&D locaties van grote bedrijven. In dit MMIP wordt ingezet op ontzuiling en stimulering van brede samenwerkingsvormen tussen partijen.

3.12 MMIP 12. Land en water optimaal ingericht op CO₂ vastlegging en gebruik

Missie

In 2050 is het systeem van landbouw en natuur klimaatneutraal.

3.12.1 Wat beoogt dit MMIP?

Naast een stijgende vraag naar voedsel en diervoer zal de vraag naar biomassa als grondstof voor materialen en biobrandstoffen toenemen, evenals de vastlegging van koolstof in de natuur. Dit draagt bij aan emissiereductie in zowel landbouw als in andere sectoren. In dit MMIP wordt met kennis en innovatie gewerkt aan het inrichten van land en water ten behoeve van het verhogen van de biomassaproductie. Dit doel brengt een groot aantal forse kennis- en innovatieopgaven met zich mee.

Doelstellingen MMIP

Het bereiken van een sterke reductie van emissies op het niveau van de gehele agri-food keten zowel binnen als buiten Nederland, en een optimalisatie van productie en gebruik van biomassa, te beoordelen aan de hand van: versterking van biodiversiteit in agrarisch gebied, verbetering bodemkwaliteit en -vitaliteit, optimaal landgebruik inclusief klimaatadaptatie, minimale emissies en minimale verspilling, inclusief consumentengedrag. Dit leidt tot de volgende subdoelen:

- Het ontwikkelen van 14.000 km² Blauwe Ruimte voor zeewierproductie in 2050;
- Biomassateelt met verdubbelde fotosynthese in 2050;
- Carbon footprint biomassa consument halveert in 2050 door aankoopkeuzes;
- De eiwitvoorziening voor humane consumptie zal voor 50 procent uit (nieuwe) plantaardige bronnen bestaan in 2050;
- Klimaatbehoudende natuur legt jaarlijks meer CO₂ vast, met behoud van biodiversiteit, en grotere biomassa oogst in 2050;
- Een energiegebruiksreductie naar nul-emissie in 2030 en opwek van 100 PJ in 2050 door scale-down van eerste naooogst behandelingen.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.12.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

12.1 Zeewierveredeling, -vermeerdering, -teelt, na-oogst behandeling, -verwerking Het ontwikkelen van 14.000 km ² Blauwe Ruimte voor zeewierproductie. Vanuit de Elektriciteitstafel is bekend dat 25 procent van het Noordzeeoppervlak windmolens krijgt. Dat is 14.000 km ² . Doelstelling is dit oppervlak meerzijdig te benutten: voor energieopwekking, voor biomassateelt (bijvoorbeeld zeewier, tweekleppigen) en biodiversiteit. Het gebied is waarschijnlijk niet toegankelijk voor visserij, en met zeewierteelt een kraamkamer voor vis. Dit biedt tevens een handelingsperspectief voor de vissector. Inzet van de zeewierteelt is voor de eiwitvoorziening, bouwstenen voor de chemie en bio-energie in 2050. Het ontwikkelen van kleinschaliger na-oogstbehandelingen. Dit vereist een scale-down benadering, waar scale-up, met alle vervoers-emissies van dien, de norm is. Ontwateren is daarbij een kernbegrip. Praktijkonderzoek is nodig om technieken te ontwikkelen en te testen (membranen, vriezen, dunne filmdrogen, inclusief CIP).			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Fundamenteel inzicht in zeewierveredeling-processen; - Dieper inzicht in optimale omstandigheden voor teelt per cultivar; - Hoe moet zeewier veredeld worden; - Inschatting van kwantiteit op basis van beschikbaarheid van NPK (theoretische productie ecologie), en effecten op biodiversiteit; - Maximale CO₂ vastlegging bij teelt realiseren; - Biobased building blocks uit zeewier: Lansink ladder en compound identification, inclusief de mogelijke winningsmogelijkheden en de eisen die daardoor aan de na-oogst behandeling worden gesteld.	- Welke genetische kenmerken (traits) moeten gedefinieerd; - Aantal cultivars vergroten; - Hoe kan zeewier efficiënt vermeerderd worden; - Meervoudig gebruik ontwikkelen i.s.m. Wind op Zee; - Optimalisatie raffinage naar componenten (ontwerp en demo): eiwitwinning, polymeerwinning chemie, veevoeringrediënten, reststroom naar energietoepassing; - Veiligheid (metaal-accumulatie, na-oogst microbiologie, Jodium, microplastics).	- Teeltwijzen testen; - Praktische teeltconcepten en logistiek passend bij Wind op Zee testen, inclusief enten, telen, oogsten, en na-oogst behandeling vóór processing; - Demonstratiepilot raffinage naar componenten (ontwerp en demo): eiwitwinning en reststroom naar energietoepassing.	- Hoe kan het gebruik van huidige teelt-pilot-mogelijkheden worden vergroot? - Wat is de beste manier om dit als perspectief voor de visserij te schetsen?

12.2 Verdubbelde fotosynthese

Het ontwikkelen Biomassateelt met verdubbelde fotosynthese in 2050. Voor 2030 is de vraag hoe efficiënter gebruik kan worden gemaakt van biomassa, biomassa langdurig worden benut en recycling van biomassa worden bewerkstelligd. Demo's voor bioraffinage zijn noodzakelijk. Voor 2050 gaat het om gerichte verbetering van de fotosynthese, de benutbaarheid voor food en non-food en de verdeling van assimilaten over oogstbare delen en het wortelstelsel. De huidige efficiëntie waarmee zonlicht wordt omgezet in plantmateriaal (< 1 procent van de invallende energie) moet worden verdubbeld, hetgeen fundamenteel onderzoek vereist. Een gerichte veredeling op benutbaarheid van planten is om twee redenen belangrijk. Ten eerste de nieuwe toepassingen van biomassa en de vermindering van dierlijke producten in het humane dieet, ten tweede zal de inzet van plantaardige materialen als grondstof voor veel producten (chemie en materialen) nodig zijn, met eisen aan bijvoorbeeld de kwaliteit van vezels of het mineraalgehalte. Tenslotte kan een deel van de verbeterde fotosynthese worden gebruikt voor een groter aandeel van het wortelstelsel, waarmee weerbaarheid en de bijdrage aan organische stof in de bodem kunnen worden verhoogd.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Begrip verdeling assimilaten over oogstbare delen en wortelstelsel en sturing daarop; - Fundamenteel begrip van sturing op fotosynthese.	- Selectie van gewassen en technieken die potentie hebben.	-	-

12.3 Klimaatvriendelijke keuzes bij aanschaf producten

Het maken van klimaatvriendelijke keuzes bij aanschaf producten in 2050, om de gezonde voedselkeuze ethisch te relateren aan grondstofkeuzes (waarom van preferentie in bodemgebruik: food of non-food) en een maatschappelijke discussie mogelijk te maken, en om vaste biomassa als vastleggend medium maximaal in te zetten als constructiemateriaal.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Dieper inzicht in de mechanismen van de menselijke psyche; - Sociaalwetenschappelijk onderzoek naar gedragsverandering; - Economisch onderzoek over het organiseren van marktprikkels.	- Welke informatievoorziening sluit optimaal aan bij de consument; - Bouw systeem van groepsgewijze emissieprint per productgroep in 2030.	- Pilots met marktprikkels ten behoeve van gedragsverandering.	- Wat is de beste manier om informatievoorziening te realiseren, met welke actoren wordt dat het beste gedaan?

12.4 Gezonde voedselkeuze

Ethisch relateren aan grondstofkeuzes (waarom van preferentie in bodemgebruik: food of non-food) en een maatschappelijke discussie mogelijk maken.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Welke emissies door productie en consumptie van voeding en consumptiegoederen in het algemeen zijn beïnvloedbaar, wat is de omvang, hoe te beïnvloeden; - Idem van diensten (transport, mobiliteit, huisvesting, maar ook recreatie); - Welke incentives zijn er voor producenten (besparing, verdienmodellen, business cases); - Idem voor consumenten (beprijzing etc.).	- Wat is de beste strategie om gedragsverandering te bewerkstelligen?	- Welke rol heeft welke actor (consument, producent, overheid, welke overheid); - Idem van diensten (transport, mobiliteit, huisvesting, maar ook recreatie).	- Hoe is het best een maatschappelijke discussie rondom landgebruik te voeren; - Idem over internationaal landgebruik (fair share).

12.5 Eiwit voor humane consumptie

Om de eiwitvoorziening voor humane consumptie voor 50 procent uit (nieuwe) plantaardige bronnen in 2050 te laten bestaan. De komende jaren zullen er nieuwe productiewijzen worden ontwikkeld voor deze eiwitten. Randvoorwaarde voor deze nieuwe productiewijzen is dat ze tot minder broeikasgasemissies moeten leiden.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Kunnen meerdere planten symbiose met stikstofbindende bacteriën krijgen? En zeewier? - Dieper inzicht in ontstaan eiwitstructuren uit concentraten (uit isolaten is al veel bekend).	- Resultaten uit structuurvorming omzetten naar bruikbare laag-energie apparatuur; - Doorontwikkelen minimale raffinageconcepten; - Veiligheidsissues (novel food, allergenen).	- Resultaten uit structuurvorming omzetten naar bruikbare laag-energie apparatuur inclusief demo; - Doorontwikkelen minimale raffinageconcepten inclusief demo.	- Wat zijn de beste stappen om te zetten naar een bredere consumentenacceptatie?

12.6 Klimaatbehendige natuur

Een klimaatbehendige natuur: legt jaarlijks meer CO₂ vast, met behoud van biodiversiteit, en grotere biomassa oogst in 2050: maatregelen in bos- en natuurterreinen moeten bijdragen aan klimaatdoelstellingen. Slim bos- en natuurbeheer is belangrijk voor de biodiversiteit, grondstoffen voor de bio-economie, en waterberging. Dit moet zich richten op mitigatie door de hele keten: Bos-hout-bio-energie, en dit combineren met adaptatie aan klimaatverandering. Voorwaarde is uitgaan van de lokale omstandigheden en de maatregelen daarop aanpassen.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Hoe adaptatie te combineren in hogere opbrengst? - Hoe biodiversiteit te borgen bij hogere opbrengst? - Hoe landschaps- en natuurwaarden te verbeteren bij hogere opbrengst?	- Genetische inpassing in- en uitheemse planten met oog op klimaatverandering en biodiversiteit; - Technieken voor hout- en boomziekten bestrijding ontwikkelen.	- Hoe kunnen de diepere inzichten toegepast worden rekening houdend met lokale omstandigheden; - Concepten waterberging testen; - Boomsgewijze bosverjonging implementeren.	-

12.7 Gebruiksreductie naar nulemissie

Om de CO₂-emissie uit gebruik van fossiele brandstoffen in de landbouw tot nul terug te brengen en in het landelijk gebied 100 PJ aan energie op te wekken uit niet-fossiele brandstoffen, inpasbaar in de bedrijfsvoering. In dit MMIP wordt gewerkt aan de kennis en innovatie die daar voor nodig is. Reeds nu is het rurale gebied een netto opwekker van elektriciteit. Er is behoefte aan onderzoek en uitrol gericht op het realiseren van integrale energieneutrale agrarische bedrijven, plattelandsgebieden en voedselproducenten. De onderzoeksbehoefte op het gebied van de energietransitie in de agrifoodketen is daarmee niet gericht op individuele besparings- of opwekkingstechnieken. Tegelijkertijd kan energieopwekking bijdragen aan een goede businesscase voor de boer. De primaire sector is al lange tijd bezig met het opwekken van hernieuwbare energie en het besparen van energieverbruik. Inmiddels is het finaal energieverbruik van de landbouwsector exclusief de glastuinbouw voor ongeveer 80 procent afkomstig uit hernieuwbare bron. Een deel van de toekomstige energiebehoefte van Nederland kan door de primaire sector worden geproduceerd. Een energieneutrale primaire sector in 2030 is daarmee haalbaar.

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
-	- Kleinschaliger naoogst-behandelingen, ontwikkelen unit operations.	- Energiebesparingstechnieken geïntegreerd in de bedrijfsvoering; - Kleinschalige energieopwekking; - Kleinschaliger naoogstbehandelingen.	- Wat is de beste manier de ondernemers in beweging te krijgen?

3.12.2 Positionering MMIP

Sectoren

Dit MMIP heeft interactie met de chemische industrie, landbouw, mobiliteit, gebouwde omgeving, water, wind op zee, tuinbouw, elektriciteit en de veredeling. De industrie, met name de chemie, zet in op recycling tot 80 procent. Voor het overige is biomassa nodig. Voor CO₂-vrij regelbaar vermogen, naast zon en wind voor elektriciteitsopwek is biomassa de goedkoopste route. Deze nieuwe Nederlandse Landbouw zal hierin voor de voorziening een cruciale rol spelen. Grondstof

en gebruik komt in Nederland samen op voedselproductie, meststoffenproductie, mobiliteit/petrochemie (olieraffinage), en elektriciteitsopwek.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

Biomassateelt is een kerncompetentie van Nederland. Zeewierteelt staat aan het begin van de ontwikkelcurve, maar het actief zijn op zee gebeurt al geruime tijd. Bovendien heeft Nederland een sterke kennispositie op het gebied van chemie en biomassaproductie, met een grote traditie in vierkantsverwaarding en cascadering. Tevens heeft Nederland een redelijke uitgangspositie op het gebied van gedragswetenschappen, gevoed door het NWO pakket 'Transities de menselijke maat'. Rondom de inzet van biomassa loopt een stevig debat, dat een nadere duiding en maatschappelijke discussie vereist. Echter, met de publieke bezuinigingen op de kennisinfrastructuur na 2008 is de druk op de kennisbasis fors opgelopen bij alle onderzoeksfasen. Daar komt als zwakte bij dat naar een implementatie toe (een regelingen- of call tekst) de huidige manier van werken een doorsnijdende aanpak minimaal ondersteunt (bijvoorbeeld de zeewierketen).

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

- Onderzoeksagenda TKI Biobased Economy 2015-2027;
- Kernthema Circulair, topsector Agri&Food;
- Transitieagenda Nederland Circulair 2050 (met grondstoffenakkoord);
- Transitieagenda biomassa en voedsel;
- Nationale wetenschapsagenda's: Blauwe route, energietransitie, Duurzame productie van gezond en veilig voedsel, Circulaire economie, Kwaliteit van de omgeving, Materialen;
- Biobased Industries Consortium SRIA;
- A sustainable bioeconomy for Europe (2018 update);
- Kas als Energiebron.

Strategie internationaal

Nederland is de bakermat van het Biobased Industries Consortium, aanhaken bij deze agenda ligt daarom voor de hand. Daarnaast speelt het Horizon 2030 programma een significante rol. Internationale netwerken met Canada en andere landen worden in IEA kader verder uitgebouwd.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Er moet een brede samenwerking van partijen ontstaan met een hogere organisatiegraad op met name regionaal en lokaal niveau om optimale, circulaire systemen te bouwen. Start-ups, die bijvoorbeeld specifiek inzetten op vernieuwing van bio-

massaproductie en -ontwikkeling, gaan een grote rol spelen, dus intensiveren financiële stimuli en vangnetten voor kansrijke ontwikkelingen. Systemen die carbon footprints inventariseren om externe effecten in de prijs van producten mee te nemen, bijvoorbeeld true pricing of carbon credits, zijn nodig. Daarnaast is een potentieel belangrijk knelpunt bij de biomassatransitie de ruimtelijke ordening. Momenteel wordt alleen gestuurd op functies en op sterk gedecentraliseerd niveau, maar wordt binnen de functies veel ruimte gelaten voor de werkelijke invulling. Voor een gecombineerde opgave van versterking van de biodiversiteit en het optimaliseren van de biomassaproductie vanuit meerdere doelen is een vergaande sturing van het landgebruik nodig. De ontwikkeling van instrumenten is een belangrijke opgave om die sturing vorm te geven.

3.13 MMIP 13. Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem

Missie

Een efficiënte transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstof gebaseerde energiesysteem, naar een hybride (2030) en duurzaam (2050) en maatschappelijk gedragen geïntegreerd energiesysteem, dat zowel op lokale, regionale, nationale en Noordwest Europese schaal efficiënt functioneert. Tijdens en na deze transitie dient de leveringszekerheid (betrouwbaarheid) en veiligheid op het huidige niveau gehandhaafd te blijven. Bovendien dient de transitie breed gedragen te worden door de maatschappij, met oog voor kosten en landschappelijk inpassing van energie-infrastructuur.

3.13.1 Wat beoogt MMIP?

Dit MMIP ontwikkelt kennis en innovaties voor het goed onderbouwd nemen van besluiten over inrichting, beheer, governance en transitie naar een robuust en maatschappelijk gedragen duurzaam energiesysteem op verschillende schaalniveaus. Hierbij zal maximaal de synergie benut worden van de verduurzaming bij de industrie, in de gebouwde omgeving, landbouw en energiesector. Dit MMIP is overkoepelend en verbindend ten opzichte van de andere MMIP's en verdiepend op enkele specifieke onderwerpen. Het programma kent zowel technische als economische en sociale aspecten. Dit betekent dat aandacht zal worden besteed aan mogelijke marktmechanismen voor het realiseren van laagst mogelijke maatschappelijke kosten en aan de juiste incentives voor energieproducenten/gebruikers, die tevens kansen bieden voor nieuwe diensten en verdienmodellen. Daarnaast zal aandacht worden besteed aan de ontwikkeling van methodes en hulpmiddelen die de betrokkenheid van burgers vergroten. Dit MMIP richt zich ook op het ontwikkelen van kennis en kunde om op een kostenefficiënte wijze (multicommodity) infrastructuur te ontwerpen en te managen. Het gaat hierbij om verschillende schaalniveaus (van Noordwest-Europees tot lokaal). Digitalisering, een belangrijke driver van innovatie, zal in het programma ruime aandacht krijgen. Cruciaal thema is het ontwikkelen van verschillende flexibiliteitsopties en het reduceren van de kosten en het ruimtebeslag van deze opties. Het gaat hierbij om flexibiliteitsopties die vraag en aanbod van energie (van kwartier tot en met jaarschaal) in balans brengen, bijvoorbeeld door demand-side management, interconnectie, en conversie en opslag van energie. Specifieke aandacht wordt besteed aan de ontwikkeling van (grootschalige) energieopslag. Tenslotte adresseert het MMIP het ontwikkelen van kennis en kunde om hybridisering van grootschalige (industriële) energievragers

en daarbij behorende aanpassingen van de infrastructuur, zo efficiënt mogelijk te realiseren. Hierbij kan het gaan om netverzwaring, slimme inzet van infrastructuur voor elektriciteit, gas of warmte (multi-commodity systemen) of demand-side response. Dit alles heeft impact op de leefomgeving. Daarom zal dit MMIP ook kennis en (sociale) innovaties ontwikkelen die zorgen voor een door alle betrokkenen geaccepteerde landschappelijke inpassing, met minimale negatieve effecten op de leefomgeving en maximale betrokkenheid van burgers.

Doelstellingen MMIP

Het MMIP ontwikkelt kennis en innovatie voor:

- Processen, instrumenten en datasystemen waarmee stakeholders effectief gezamenlijke, acceptabele en samenhangende keuzes kunnen maken ten aanzien van de inrichting en het beheer van een duurzame, betrouwbare, betaalbare, veilige, consistente en samenhangende keten van energiesystemen, op zowel lokale, regionale, nationale als NW Europese schaal;
- Methodes en instrumenten waarmee betrokkenen efficiënt en transparant plannen kunnen maken voor ruimtelijke inpassingen van hernieuwbare energie, inclusief het omgaan met conflicterende ruimteclaims;
- Concepten, methodes en hulpmiddelen voor een slim samenhangend ontwerp, ontwikkeling en beheer van stabiele en betaalbare energie-infrastructuur (inclusief noodzakelijke digitale infrastructuur) van lokale tot nationale en Europese schaal met voldoende flexibiliteit om vraag en aanbod van energie op een optimale wijze op elkaar af te stemmen;
- Rendabele conversie en opslagsystemen voor energie (e.g,w) en andere voorzieningen die gebruikt kunnen worden voor het realiseren van een leveringszekere energievoorziening.

Mogelijke producten:

- Tools, concepten en methodieken voor besluitvorming, voor het integraal kunnen ontwerpen en beheren van transitiepaden en energiesystemen. Dit door het eenduidig zichtbaar maken van de consequenties van besluiten en risico's verbonden aan specifieke strategieën en oplossingen. Deze worden toegepast in het besluitproces rond verduurzaming van de energievoorziening en energiesystemen van Europees tot lokaal schaalniveau. Onder tools wordt verstaan: gestandaardiseerde data, processen, interfaces en architecturen; technische, economische, milieu-impact en geopolitieke analyses en analyses naar effectiviteit van regel en wetgeving, nieuwe businessmodellen, financieringsprincipes, governance modellen, consumenten-gedrag, ruimtegebruik en impact op de samenleving. De resultaten zullen worden toegepast in meerdere praktijkcases;

- Innovatieve tools, processen en methodieken voor het bepalen en borgen van kosteneffectieve flexibiliteit en leveringszekerheid op alle schaalniveaus;
- Ontwikkeling van kennis en technologie voor het realiseren van efficiënte infrastructuur zoals hergebruik van bestaande infra, innovatieve sensoren en materialen voor transport van warmte, elektriciteit en duurzaam gas;
- Doorontwikkeling van technologie voor (met name grootschalige) conversie en opslag van energie zoals: fysische energieopslagopties (zoals H₂, CAES/CNES, pumped hydro (offshore/near shore), redox/flow), grootschalige toepassing van kleinschalige energieopslag, thermische energieopslag (zoals hoge temperatuur warmte) en multi-commodity infrastructuur.

Deelprogramma's en fasering innovatietraject

Tabel 3.13.1 Deelprogramma's en fasering innovatietraject. De meest urgente kennis- en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar in de verschillende fases van een innovatieproces om de missies van Klimaatakkoord te realiseren.

13.1 Samen fact-based beslissen en vormgeven, inclusief verdien-modellen			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Inschatting ontwikkelingen van vraag en aanbod van verschillende energie-dragers; - Methodieken multi-stakeholder besluitvorming; - Innovatieve simulatie gereedschappen; - Concepten voor een energie en energie-gerelateerde informatie infrastructuur; - Analyse en raamwerk regulering; - Nieuwe business modellen energie; - Onderzoeks-infrastructuur voor verkenning en complexiteit van communicatie.	- Gereedschappen en data voor het leveren van inzicht stakeholders in complexiteit en impact keuzes; - Strategisch afwegingskader energiesysteem; - Prototype energie informatie infrastructuur; - Integrale simulatie- en optimalisatie gereedschappen energietransitie-paden; - Interactieve tools voor een optimale integratie van verduurzamingsplannen industrieën, gebouwde omgeving.	- Praktijktesten geïntegreerd besluitvormings- instrumentarium; - Implementatie energie informatie infrastructuur; - Inspirerende visualisatie effecten energietransitie voor breed publiek.	- Toepassing en (door)ontwikkeling in de praktijk van ontwikkelde concepten, methodes, tools enz.

13.2 Ruimtelijke inpassing			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek naar stakeholder engagement concepten en instrumenten uit andere sectoren; - Procesmatig oplijnen van ruimtelijke impact van maatregelen uit klimaatakkoord en Nationale Omgevingsvisie (NOVI).	- Methoden voor samen met stakeholders ontwerpen van energie-landschappen en -projecten en vroegtijdig identificeren van ruimteclaims en andere potentiële beperkingen en risico's; - Modellen voor beslisondersteuning ruimtelijke inpassing en ruimtelijke kwaliteit en gebied-specifiek ruimtelijke transitie-paden.	- Programma onder de NOVI dat zich richt op het hoofd-energie-systeem met decentrale overheden, netbeheerders en andere belanghebbenden.	- Toepassen ontwikkelde methoden bij energie-infrastructuur-projecten; - Verankering van de afspraken met behulp van de kerninstrumenten Omgevingswet.

13.3 Inrichting infrastructuur, flexibiliteit, marktmechanismen en digitalisering			
Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Onderzoek maatschappelijke aspecten flexibilisering (bijvoorbeeld gedragsveranderingen); - Overzicht, inzicht en controle in een zelfsturend gedistribueerd, genest, multi-commodity energiesysteem; - Dynamische simulatiemodellen energiemarkten en marktmechanismen.	- Interactieve ontwerpmethodieken integrale energie infrastructuur (e,g,w); - Simulatiemodel hybride infrastructuur; - Simulatietool voor flexibiliteitsopties; - Architectuur en standaarden voor digitale infrastructuur; - Organisatie voor het verzamelen en delen van energiedata; - Digitalisering (IoT, Adaptive controle, digital twins); - Analyse/raamwerk regulering; - Nieuwe business modellen energie.	- Testfaciliteiten/ digital twinning voor hybride infrastructuur; - Actuele praktijkproeven als input en inspiratie voor inhoudelijke projecten en ter toetsing van de resultaten.	- Toepassen ontwikkelde methoden bij energie-infrastructuur-projecten.

13.4 Power-to-molecules*

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Fundamentele kennis van materiaal- en structuureigenschappen; - Massa- en energietransfermodellen; - Stabiele en efficiënte componenten en materialen; - Geïntensifieerde reactorconcepten; - Nieuwe energiedragers en platformmoleculen.	- Elektrochemische reactoren voor extreme condities (temperatuur/ druk/ plasma etc.); - Procesintegratie-concepten en process control systemen; - Reversibele hoge temperatuur elektrolyse; - Elektro-katalytische omzetting van CO₂ en 'paired syntheses'.	- Grootschalige elektrolyse; - Field-lab Power-to-X; - Analyse-methodieken; - Voorspellende simulaties voor ontwerp en selectie van elektrochemische materialen; - Integratie elektriciteitsconversieprocessen.	-

13.5 Groot-schalige energieopslag, energie transport en hybridisering energievraag

Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
- Verlagen economische, milieu- en sociale impact van grootschalige energieopslag; - Inzicht in de rangorde van de diverse leveringszekerheidsopties; - Sensor-technologie; - Materiaalgedrag onder wisselende gassamenstellingen.	- Technologieën voor grootschalige energieopslag; - Ontwikkeling van milieuvriendelijke elektrolyten; - Capabilities hybridisering van grote energievraag; - Monitoring wisselende gassamenstelling in gasnetten; - Strategie voor inzet van bestaande infrastructuur.	- Demonstratie grootschalige opslag van warmte; - Demonstratie innovatieve energieopslagstechnieken; - Verbeterde alignment met flexibiliteitsfuncties; - Sensoren en materialen voor transport van energie.	- Integratie van hybride technologie in industriële processen; - Kansencarta voor grootschalige energieopslag.

*) Dit deelprogramma zal, met uitzondering van de systeemaspecten, worden uitgevoerd in MMIP 8.

3.13.2 Positionering MMIP**Sectoren**

Door de energietransitie en een toenemende diversificatie en decentralisatie van productie en gebruik van energie wordt het ontwerp en beheer van een energiesysteem een zeer complex proces en is een integrale aanpak cruciaal. Dit betekent dat een afstemming tussen de verduurzamingsplannen van de energiesector, gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, agri & food noodzakelijk is. MMIP 13 heeft daarom een verbinding met vele andere MMIP's. Deze verbinding zal de vorm van een 'zwaluwstaart' hebben omdat niet exact is vast te leggen waar grensvlakken liggen tussen verschillende programma's.

Sterktes en zwaktes kennispositie en positie bedrijfsleven

De kennispositie ten aanzien van systeembenaderingen is nog niet goed ontwikkeld en is versnipperd. Dit is overigens in veel landen in en buiten Europa het geval. Nederland heeft een sterke positie op het gebied van digitalisering, (hernieuwbaar) gas en een sterke traditie met het realiseren van integrale oplossingen en producten. Doorvertaling en bedrijvigheid in de componentketen en in systeemintpassingen zijn daarom kansrijk. De kennispositie ten aanzien van grootschalige opslagmethodes is zwak, denk hierbij bijvoorbeeld aan batterijtechnologie. Nederland is echter wel sterk in ondergrondse opslag van energie is. Dit geldt ook voor grootschalige warmteopslag. Opslag van energie (bijvoorbeeld waterstof), in lege gasvelden kan een unieke kennispositie opleveren. Marktmechanismen die investeringen in grootschalige conversie en opslag voor leveringszekerheid stimuleren ontbreken echter momenteel.

Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's

Samenwerking met buitenlandse kennisconsortia rond systeemvraagstukken zijn in ontwikkeling, bijvoorbeeld in EU EERA verband. Digitalisering wordt Europees belegd in ETIP/SNET. Groene waterstof en innovatieve elektrolyse worden als enabling technology genoemd in de Nationale routekaart waterstof en het adviesrapport ECCM van Topsectoren Chemie, Energie en HTSM. Ook internationaal wordt dit zo gezien door onder andere Dechema en World Energy Council.

Innovatiesysteem en consortiumvorming

Het innovatiesysteem met betrekking tot systeemintegratie is onvolwassen en versnipperd. Voldoende financiering, het bij elkaar brengen van betrokken partijen en het adresseren van verantwoordelijkheden voor systeemvraagstukken is noodzakelijk. Belangrijke partijen hierbij zijn TSO's, DSO's, (de)centrale overheden, leveranciers en producenten (E/G/H), (groot)gebruikers en gebruikers (industrie), de transportsector en ontwikkelaars van lokale energiesystemen en componenten. Het Dutch Power Platform verbindt meer dan zestig bedrijven, rond kwaliteit, betrouwbaarheid en continuïteit van de Nederlandse elektriciteitsinfrastructuur. In het platform Energy Storage NL zijn circa zestig deelnemers vertegenwoordigd die zich bezig houden met opslag van energie. Rond conversie van 'elektronen naar moleculen' (zoals waterstof) zijn verschillende netwerken actief (zie MMIP 8). Het platform EASE is actief in de hele waardeketen van energieopslag. Voor warmteopslag start een internationaal onderzoeksprogramma en een nationaal programma is in voorbereiding. Voor andere grootschalige opslagopties is consortiumvorming nog pril. Voor warmteopslag is een nationaal programma in voorbereiding. Rond inzet en verzwaring of hergebruik van bestaande energie-infrastructuur wordt al

samengewerkt, bijvoorbeeld tussen Tennet en Gasunie en de regionale netbeheerders. Op het gebied van Power-to-X zijn er samenwerkingsmogelijkheden, bijvoorbeeld met het Duitse Kopernikus programma en WaterstofNet Vlaanderen. Opslag van waterstof wordt bestudeerd in Duitsland en Engeland. Met de buurlanden wordt onderzocht of er grensoverschrijdende industriële projecten mogelijk zijn waarbij wind op zee en industrie aan elkaar worden gekoppeld via waterstoftransport in bestaande gasinfrastructuur. In Leeds zijn plannen voor waterstofinfrastructuur. Voor grootschalige opslag van elektrochemisch energie in de ondergrond zijn er kansen om samen te werken met Duitsland, Noorwegen en Engeland waar al veel kennis bestaat op het gebied van opslag van energiedragers in zoutcavernen. Onderzoek naar seizoensopslag van warmte vindt al plaats tezamen met enkele landen waaronder Denemarken, Duitsland, Zwitserland, België, IJsland, Portugal, Spanje en Frankrijk.

4 Reacties uit de consultatie en vervolgproces IKIA



Gerobotiseerde woningproductie bij Bouwgroep Dijkstra Draisma. Om alle gebouwen op tijd te verduurzamen moet de bouw anders gaan produceren

4.1 Reacties uit de consultatie

De 90 procent versie van deze IKIA is van 11 december 2018 tot 8 januari 2019 ter consultatie voorgelegd aan een brede vertegenwoordiging van de topsectoren en kennisinstellingen (zie de lijst in de bijlage). Dit diende een tweeledig doel: enerzijds het valideren van de samenhang en volledigheid, vanuit de expertise in het werkveld. Anderzijds het bepalen van de aansluiting bij bestaande kennis- en innovatieprogramma's. Concreet is gevraagd hoe de conceptagenda aansluit bij de eigen agenda, wat de bijdrage aan de agenda kan zijn en bij welke meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's) betrokkenheid is gewenst.

Naast brede omarming van de missiegedreven aanpak en belangstelling om bij te dragen aan de verdere uitwerking en programmering, zijn waardevolle suggesties gedaan voor aanscherping. Waar mogelijk en passend zijn niet-controversiële suggesties verwerkt. Algemene of meer controversiële discussiepunten zijn in dit hoofdstuk opgetekend en gemarkeerd ten behoeve van het vervolgproces. Kleinere punten zijn niet opgetekend, maar geven we mee voor de verdere uitwerking van de MMIP's om de vastgestelde missies te realiseren.

De Taakgroep Innovatie constateert dat er grote belangstelling is om bij te dragen aan (onderdelen van) deze IKIA en veel partijen hebben te kennen gegeven graag hierover verder in gesprek te willen gaan. Ook ligt er van meerdere partijen al een concreet aanbod om aan bepaalde MMIP's en deelprogramma's mee te doen. De reacties van de geconsulteerde partijen zijn samen met deze IKIA aangeboden aan het Klimaatberaad en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat met het concrete advies om deze mee te nemen in het vervolgproces en partijen te betrekken bij de uitwerking van deze IKIA.

Hoofdpunten uit de reacties van geconsulteerde partijen:

1. De missiegedreven aanpak wordt omarmd, partijen zijn overwegend positief over de concept IKIA en willen graag betrokken zijn bij de verdere uitwerking en uitvoering van de IKIA.
2. Vanuit de wetenschap wordt benadrukt dat mogelijk nog meer aandacht nodig is voor de lange termijn (2050). Tevens wordt aandacht gevraagd voor een evenwichtige verdeling van de inzet over de innovatieketen van fundamenteel onderzoek tot grootschalige implementatie.
3. Er zijn vragen over de verbinding van het thema klimaat en energie (waaronder circulariteit) met de drie andere, grote maatschappelijke thema's in het kader van de vernieuwing van het topsectorenbeleid. Het gaat hier om landbouw,

water en voedsel; gezondheid en zorg; en veiligheid (waaronder cyber-, defensie- en waterveiligheid).

4. Partijen vragen aandacht voor een goede balans tussen technologisch en niet-technologische kennis en innovaties in de agenda, waarbij de laatste meer aandacht zouden moeten krijgen. Het gaat dan onder andere om sociale innovaties, draagvlak, maar ook ecologie en ruimtelijke inpassing.
5. Veel opmerkingen en vragen gaan over de governance, instrumentering en financiering van de IKIA. Dit valt echter buiten de opdracht van de Taakgroep Innovatie.
6. Er wordt aandacht gevraagd voor de samenhang van de IKIA met uitrol, normering, wet- en regelgeving en experimenteerruimte. Dit vindt ook zijn oorzaak in dat het concept van deze IKIA separaat en voorafgaand aan de publicatie van het ontwerp Klimaatakkoord ter consultatie is aangeboden, terwijl het daar integraal onderdeel van uit maakt en aspecten als uitrol, normering, wet- en regelgeving daarin nadrukkelijk aan de orde komen.
7. Het kabinet zet (naast klimaatneutraliteit) in op een volledig circulaire economie in 2050. Hiervoor worden kringlopen gesloten en biomassa ingezet. In het vervolgtraject zal met de relevante stakeholders gesproken worden over een verdere operationalisering van dit doel voor de industrie.

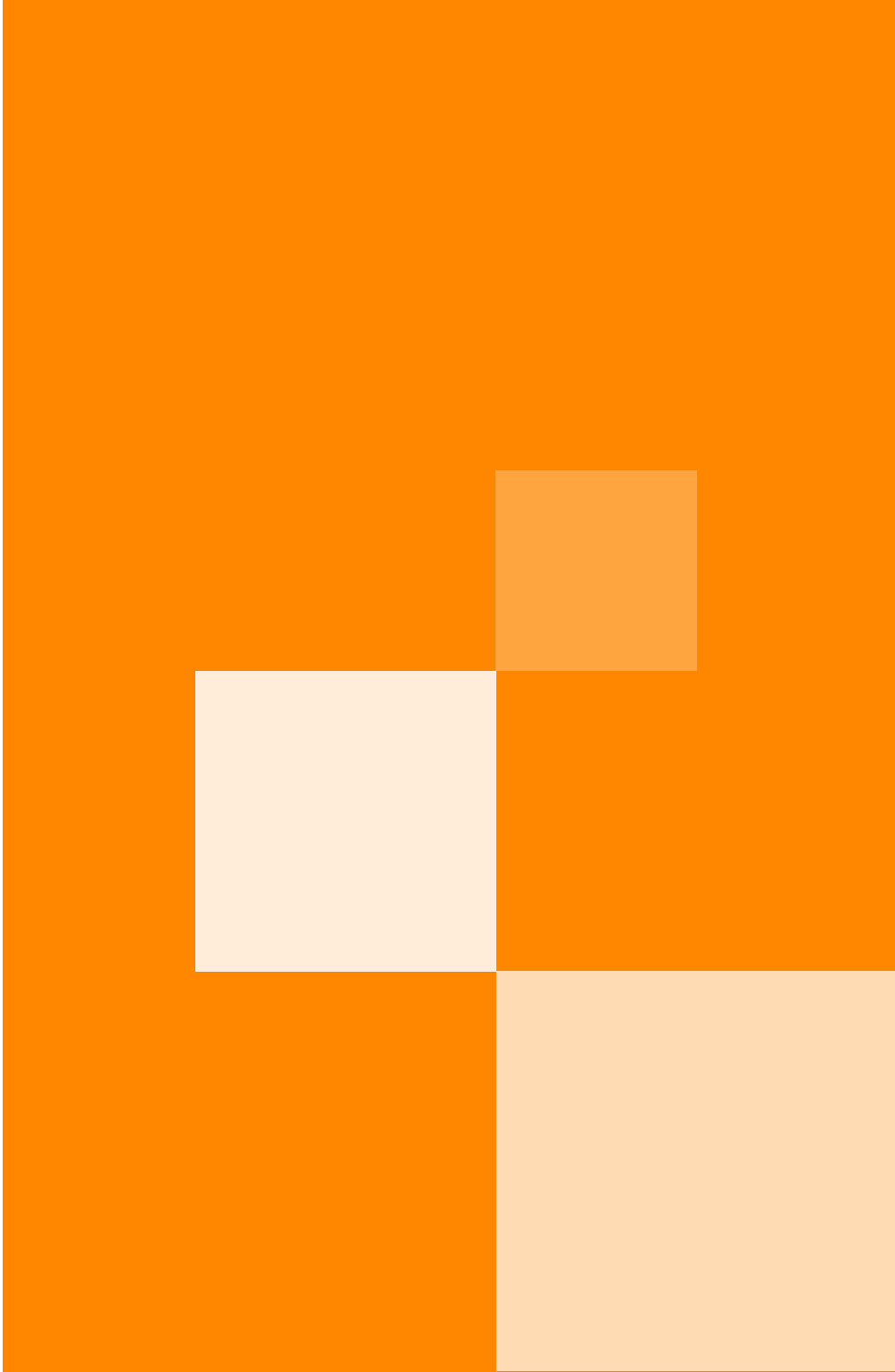
4.2 Het vervolg: naar missiegedreven innovatiebeleid voor klimaat en energie

Met deze IKIA en de dertien Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) is de benodigde kennis en innovatie voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord gearticuleerd. Daarmee is een stevig fundament gelegd voor de programmering van kennis en innovatieopgaven voor de komende vijf jaar. Maar daarmee zijn we er nog niet.

In de komende maanden zullen de MMIP's verder inhoudelijk moeten worden uitgewerkt, zal de governance van de missiegedreven aanpak voor klimaat en energie moeten worden bepaald, de financiering worden geregeld en een passende instrumentering gevonden moeten worden voor de IKIA. De Taakgroep Innovatie adviseert om dit proces in gezamenlijkheid met partijen uit de gouden driehoek en maatschappelijke organisaties ('platina vierkant') te doorlopen.

Daarnaast wil de Taakgroep Innovatie er nog één specifiek punt uitlichten. De insteek om vanuit missies naar missiegedreven innovatieprogramma's toe te werken verdient de voorkeur, zodat duidelijk is waar partijen naartoe werken

om de maatschappelijke opgaven voor klimaat en energie te kunnen verwezenlijken. De keerzijde is echter dat de dwarsdoorsnijdende thema's, zoals elektrochemische conversie (waaronder waterstof), geothermie, biomassa en materialen, versnipperd dreigen te raken over verschillende MMIP's. De integraliteit van de missies en de aanpak van doorsnijdende thema's vraagt dus nadrukkelijk de aandacht bij de uitwerking van de governance.

An abstract graphic on the left side of the page, consisting of a large orange rectangle. Within this rectangle, there are three smaller squares: a light orange square in the upper right, a white square in the middle left, and a larger light orange square in the bottom right.

Bijlagen

Samenstelling van de Taakgroep Innovatie

Leden

Onafhankelijke leden

prof. dr. ir. T.H.J.J. (Tim) van der Hagen (voorzitter)

Tafelvertegenwoordigers

ir. P. (Peter) Alderliesten (Industrie)

ir. T. (Teun) Bokhoven (Gebouwde omgeving)

dr. M. (Mart) van Bracht (Systeemintegratie)

drs. H. (Harm) Jeeninga (Elektriciteit)

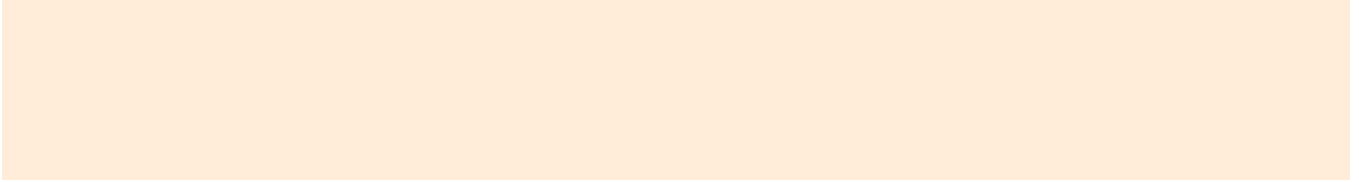
dr.ir. C.D. (Kees) de Gooijer (Landbouw en landgebruik)

R. (Rob) de Groot, MSc. (Mobiliteit)

Secretariaat

drs. B.W.M. (Bas) Heijs (EZK)

dr. A. (Alexander) van der Vooren (SER)



Geconsulteerde partijen

- Deltares
- KNAW
- MARIN
- NERA
- NWO
- StartupDelta
- TNO
- Topsector Agri&Food
- Topsector Chemie
- Topsector Creatieve Industrie
- Topsector Energie
- Topsector High Tech Systemen en Materialen
- Topsector Life Sciences and Health
- Topsector Logistiek
- Topsector Tuinbouw & Uitgangsmaterialen
- Topsector Water en Maritiem
- Team digital dutch delta
- Wageningen University & Research

Colofon

Uitgave

Secretariaat Klimaatakkoord
Bezuidenhoutseweg 60
Postbus 90405
2509 LK Den Haag

T 070 3499 644

E klimaatakkoord@ser.nl

www.klimaatakkoord.nl

Tekst

Samenstelling Taakgroep Innovatie Klimaatakkoord

Fotografie

Hyperloopteam TU Delft, pagina 5

Branko de Lang, pagina 9, 25 en 45

EBN, pagina 13

Sacha Grootjans/Hollandse Hoogte, pagina 19

Bouwgroep Dijkstra Draisma, pagina 131

Vormgeving en opmaak

2D3D, Den Haag (basisontwerp);

SER, Communicatie Grafische Vormgeving

© 2019, Secretariaat Klimaatakkoord

Alle rechten voorbehouden

Overname van teksten is toegestaan onder bronvermelding.

SECRETARIAAT KLIMAATAKKOORD
Bezuidenhoutseweg 60
Postbus 90405
2509 LK Den Haag

T 070 3499 644
E klimaatakkkoord@ser.nl

www.klimaatakkkoord.nl

© 2019, Secretariaat Klimaatakkkoord