

## MMIP 8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen



1

Definitief Voorstel – Update Prioritering en Innovatie Systeem Analyse

16/9/2019

### **Kernteam MMIP8**

Andreas ten Cate, trekker (ISPT, TKI E&I)

Met medewerking en bijdragen van de kernteam leden

Frans v.d. Akker (ISPT)

Eric Appelman (Brightlands)

Margrethe Bongers (RVO)

Joep van Esch (Shell)

Jörg Gigler (TKI Nieuw Gas)

Thijs de Groot (Nouryon)

Marten Harmelink (EZK)

Wiebren de Jong (TUD)

Guido Mul (Universiteit Twente)

Herman Prinsen (RVO)

Marcel Weeda (ECN part of TNO)

Peter Wolfs (TNO)

Ondersteuning MMIP8 door Navigant

Juriaan van Tilburg

---

<sup>1</sup> Photo by [lee junda](#) on [Unsplash](#)

## Inhoudsopgave

1	Samenvatting .....	4
1.1	De bijdrage van het MMIP aan de missie.....	4
1.2	De samenhang van de deelprogramma's .....	5
1.3	Een korte beschrijving van de deelprogramma's.....	5
2	Missie C voor Industrie .....	6
2.1	Achtergrond .....	6
2.2	Visie.....	8
2.3	Samenhang tussen de MMIP's.....	8
2.4	Missie C en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren .....	13
2.5	Missie C en HCA.....	14
2.6	Missie C en Digitalisering .....	15
2.7	Randvoorwaarden.....	17
2.8	Samenwerking en afstemming .....	18
2.9	Valorisatie en marktcreatie.....	25
2.10	Monitoring en evaluatie .....	25
	Bijlagen.....	27
2.11	Procesbeschrijving .....	27
2.12	Criteria voor prioriteren innovatieopgaven .....	27
2.13	Financieringscategorisering.....	28
3	MMIP8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen .....	29
3.1	Inleiding .....	29
3.2	Inhoudelijke beschrijving van het MMIP.....	29
3.3	Toelichting op de deelprogramma's.....	36
3.4	Samenhang van de deelprogramma's binnen het MMIP .....	37
3.5	Stand van zaken/overzicht .....	38
3.6	Communicatie, leren en disseminatie .....	42
4	Deelprogramma 1: Productie waterstof, moleculen, en innovatieve hernieuwbare brandstoffen. 44	
4.1	Programmatische aanpak.....	44
4.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	59
4.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	59
5	Deelprogramma 2: Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen .....	61
6	Deelprogramma 3: Flexibilisering en digitalisering.....	62
6.1	Programmatische aanpak.....	62
6.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	75
6.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	75
7	Deelprogramma 4: (Radicaal) vernieuwde processen .....	76
7.1	Programmatische aanpak.....	76
7.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	85

7.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	85
8	Deelprogramma 5: Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie .....	86
8.1	Programmatische aanpak.....	86
8.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	92
8.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	92

# 1 Samenvatting

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.

Uitdagingen zijn kostenreductie en opschaling elektrische waterstofproductie en de ontwikkeling van klimaatneutrale brandstoffen en moleculen (in samenwerking met MMIP 6 en 11). Ontwikkeling van elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen vergroten de mogelijkheden voor elektrificatie. Combinatie met digitalisering biedt daarnaast richting 2050 kansen voor decentrale productieprocessen. Hiervoor is nieuwe kennis over veiligheid en proces 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.

## 1.1 De bijdrage van het MMIP aan de missie

### *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 CO<sub>2</sub>-emissies meer hebben.

### *Wat beoogt 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 elektriciteitssysteem. 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*

1. **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;**
2. **Kosteneffectieve elektrochemische productieprocessen voor basischemicaliën en brandstoffen zijn in 2030 ontwikkeld en klaar voor opschaling naar bulk processen.**
3. **Energie-efficiënte elektrische aangedreven processen zijn in 2025 standaardtechnologie.**
4. **Digitalisering van processen is als best practice geaccepteerd en breed uitgerold in 2025;**
5. **Minimaal 3 radicale doorbraken in CO<sub>2</sub>-intensieve processen zijn op pilotschaal bewezen.**

## 1.2 De samenhang van de deelprogramma's

De deelprogramma's in de MMIP zijn vormgegeven rond de drie thema's:

- Elektrische routes naar waterstof en andere brandstoffen, onder andere via elektrochemie.
- Flexibilisering en digitalisering van industriële processen om optimaal en energie efficiënt in te spelen op beschikbaarheid van flexibele elektriciteitsproductie en elektriciteitsvraag te reduceren.
- Elektrificatie van industriële processen met relatief veel CO<sub>2</sub> emissies door (radicale) procesvernieuwingen

De thema's komen 1-op-1 terug in de deelprogramma's. Hoewel de deelprogramma's relatief los van elkaar staan qua inhoud en innovatiebehoefte hebben zij alle de kritieke succesfactor van voldoende beschikbare en voldoende duurzame elektriciteit. Een andere gemene deler zit in aspecten rondom maatschappelijk verantwoord innoveren en de human capital agenda. Deze gemeenschappelijke aspecten zijn opgenomen in het laatste deelprogramma.

## 1.3 Een korte beschrijving van de deelprogramma's

### **Deelprogramma 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 vervoerwijzen 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.

### **Deelprogramma 2: Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen.**

<<Voor balans in het programma is deze programmalijn komen te vervallen en volledig opgenomen in de andere vier lijnen. >>

### **Deelprogramma 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.

### **Deelprogramma 4: (Radicaal) vernieuwde processen.**

Productieprocessen kunnen efficiënter worden gemaakt via incrementele stappen, maar voor volledige CO<sub>2</sub>-emissiereductie zijn vaak radicaal vernieuwde of nieuwe productieprocessen nodig, die intrinsiek energie- en/of grondstof-efficiënter zijn. Voorbeelden zijn alternatieve routes naar olefines, watervrij papier maken en nieuwe methodes om staal te fabriceren.

### **Deelprogramma 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.

## 2 Missie C voor Industrie

### 2.1 Achtergrond

In de begin 2019 uitgebrachte integrale kennis- en innovatieagenda (IKIA) voor klimaat en energie staat de integrale kennis en innovatie die nodig geacht wordt voor de maatschappelijke opgave van het Klimaatakkoord centraal. De invulling is gebaseerd op een brede uitvraag en afspraken met de CO<sub>2</sub>-emitterende sectoren.

Daaraan voorafgaand en deels parallel heeft het kabinet met het missie gedreven innovatiebeleid een nieuwe aanpak voor de topsectoren en het innovatiebeleid geformuleerd. Economische kansen en maatschappelijke opgaves zijn in deze aanpak twee kanten van dezelfde medaille. Het kabinet richt zich daarbij op de volgende thema's: Energietransitie en Duurzaamheid; Landbouw, Water en Voedsel; Gezondheid en Zorg; en Veiligheid. Daarnaast zet het kabinet in op sleuteltechnologieën, voor toekomstige economische kansen, en om vanuit de topsectoren gericht technologische bijdragen te laten leveren aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

De IKIA is onderdeel van het eerste thema. De KIA Circulaire Economie (CE) vormt het tweede onderdeel. Volgens de nieuwe aanpak zijn kennis en innovatievragen in de IKIA vertaald in 5 missies, voor 2050 en tussendoelen voor 2030 met in totaal dertien Meerjarige Missie gedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) waarin de innovatieopgaven op hoofdlijnen zijn beschreven. In deze MMIP's is een balans gezocht tussen aandacht voor de korte termijn (ontwikkeling, demonstratie en uitrol) en voor de middellange en lange termijn (onderzoek en ontwikkeling).

De klimaatopgave voor de industrie is in het Klimaatakkoord vastgesteld op 14,3 Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie in 2030, additioneel aan het bestaande beleid (5,1 Mton reductie), en klimaatneutraliteit in 2050. Kabinet en industrie hebben daarnaast de gezamenlijke ambitie geformuleerd dat alle Nederlandse industriële bedrijven in 2030 behoren tot de 10% meest CO<sub>2</sub>-efficiënte bedrijven van Europa in hun sector. Voor het slagen van de systeemtransitie in de industrie is het noodzakelijk om nieuwe processen en technieken te ontwikkelen, die het mogelijk maken om efficiënter maar ook vooral anders en beter te produceren. Innovatief onderzoek, pilots en demonstratie zijn van groot belang om de benodigde nieuwe technologieën beschikbaar, betrouwbaar en betaalbaar te krijgen.

Daartoe zijn in de IKIA onder missie C drie samenhangende meerjarige innovatieprogramma's met elk een specifieke missie geformuleerd om missie C te realiseren:

- MMIP 6: Sluiting van industriële ketens
- MMIP 7: Een 100% CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem
- MMIP 8: Maximale elektrificatie en radicaal vernieuwde processen

Het accent in de MMIP's voor de industrie ligt op het realiseren van kostenreductie en versneld naar de markt brengen van technologieën zoals elektrolyse van water (groene waterstof), elektrificatie, CCU(S), circulaire processen en warmte-uitkoppeling.

Deze zijn in separate documenten verder inhoudelijk uitgewerkt in deelprogramma's met concrete doelstellingen waar, vanuit het klimaatakkoordperspectief, in 2030 en 2050 wordt bijgedragen.

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 de afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt, elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geëffectueerd, CCS wordt kosteneffectief ingezet, duurzame waterstofproductie is op weg naar implementatie en biograndstoffen worden gezien als de standaard.

**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 productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent;
- is verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300°C bereikt;
- zijn elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geëffectueerd;
- wordt CCS kosteneffectief ingezet;
- is duurzame waterstofproductie op weg naar implementatie;
- worden biograndstoffen gezien als standaard.

**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

**7**

**CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem**

- Warmtehergebruik, -opwaarding en opslag
- Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie
- Toepassing klimaatneutrale brandstoffen
- Systemconcepten 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

Missie C van de IKIA richt zich op grondstoffen, producten en processen in de industrie.

De uitwerkingen zijn per MMIP uitgevoerd door een door EZK benoemde trekker en een bijbehorend kernteam waarin de gouden driehoek (bedrijven, overheid, kennisinstellingen) vertegenwoordigd zijn. Met de 50/80% concepten zijn consultaties gedaan via EZK, bij ETS-bedrijven, bij de vijf grote industriële clusters/regio's, Brainport, Deltalinqs, Smartport, regio Overijssel en via de kernteamleden bij een veelheid aan specifieke kennisdragers.

In paragraaf 2.2 wordt de visie die ten grondslag ligt aan missie C besproken. De scope en samenhang van de MMIP's en het 'enabling' programmadeel Systemanalyse en -integratie Industrie wordt behandeld in paragraaf 2.3 inclusief de samenwerking tussen de MMIP's. Tevens wordt daar ingegaan op de Make or buy besluitvorming. De MVI-aspecten komen in 2.4 aan de orde, en de algemene randvoorwaarden, die van belang zijn bij de uitvoering en het slagen van de innovatieprogramma's in paragraaf 2.5. Specifieke aspecten per MMIP worden in de MMIP-hoofdstukken verder uitgewerkt. De doorsnijdende thema's HCA en Digitalisering vindt u respectievelijk in de paragrafen 2.6 en 2.7. De voorziene samenwerking met de KIA's van het topsectorenbeleid, regionale en internationale programma's komen in paragraaf 2.8 aan de orde. In 2.9 wordt valorisatie en marktcreatie behandeld en tot slot in paragraaf 2.10 de gewenste aanpak op het gebied van monitoring en evaluatie.

## 2.2 Visie

De maak- en procesindustrie is een belangrijke motor van onze economie en zorgt in belangrijke mate voor onze welvaart. Tegelijkertijd wordt er een enorm beslag gelegd op grondstoffen, (fossiele) energiedragers en ruimte; en gaat de productie gepaard met een aanzienlijk aandeel in de nationale emissies.

In een duurzame toekomst zal de industrie in 2050 voldoen aan de eisen van het Klimaatakkoord van Parijs en binnen de milieugebruiksruimte werken. De opgave is om te transformeren naar een duurzame, bloeiende, circulaire, inclusieve en concurrerende industrie. Deze industrie levert brede maatschappelijke welvaart, en draagt zo bij aan de kwaliteit van leven, werkgelegenheid en de concurrentiepositie van Nederland.

De transformatie van de industriële sector vereist een gecoördineerde en alomvattende aanpak op systeemniveau. Er is een diepgaande transformatie nodig die verder gaat dan het veranderen van het type grondstoffen of producten. Circulariteit zal van invloed zijn op het ontwerp-, productie-, gebruiks- en verwijderingsproces en op de inzameling van producten en materialen voor hergebruik. Circulariteit is een kenmerk van het systeem en vereist als zodanig een holistische (systeem)benadering waarbij volledig rekening wordt gehouden met de dynamiek en complexiteit van industriële systemen.

Er moeten nieuwe processen ontwikkeld en ketens gebouwd worden op basis van circulariteit en klimaatneutraliteit, zodat broeikasgasemissies vermeden worden. Uit reststromen, restgassen, CO<sub>2</sub> 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. Voor de afvalsector is de opgave om zoveel mogelijk waarde uit afval te genereren, waarbij reststoffen grondstoffen worden en CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt vermeden.

In onze visie is 2030 een tussenstation met een indicatieve CO<sub>2</sub>-reductieopgave van 14,3 Mton. De industrie gaat naar bijna nul emissie in 2050.

## 2.3 Samenhang tussen de MMIP's

Missie C betreft zowel de procesindustrie als de kleinere relevante CO<sub>2</sub> – emitters zoals fijnchemie, voedings- en papierindustrie, afvalverwerking, fijnmetaal, glas en keramiek. De grotere gebruikers zijn geconcentreerd in de vijf industrieclusters, terwijl de kleinere procesindustrie vaak ook in regionale industriegebieden te vinden zijn.

MMIP's 6-8 zijn gericht op het aanpakken van de hier bovenbeschreven maatschappelijke uitdaging en de realisatie van de maatschappelijke en economische transitie van de industriesector door gerichte innovaties. Elk ervan heeft een specifieke missie en scope en presenteert een specifieke aanpak qua technologische en maatschappelijke innovaties en werkveld, maar ze dragen allen bij aan het behalen van missie C. Bij de scoping van de programma's is rekening gehouden met type oplosrichting, reikwijdte, inhoudelijke samenhang, tijdhorizon en potentiële consortiumvorming. Er is en wordt aansluiting gezocht met duidelijke marktvragen.

MMIP 6 richt zich met name op innovaties in industriële ketens waarbij ook reststromen worden meegenomen. Daarbij speelt recycling van materialen en de inzet van bio grondstoffen naar hoogwaardige producten een belangrijke rol. De transitie naar circulair grondstoffengebruik zal



richting 2030 nog vooral via hergebruik van afval-, materiaal- en productstromen en restgassen verlopen. Ook implementatieondersteuning, efficiencyverhoging van CCS en hergebruik van CO/CO<sub>2</sub> is onderdeel van dit programma. Waar nieuwe koolstof nodig is wordt biomassa als hoogwaardige grondstof ingezet of gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub> uit de lucht.

Binnen de processen is het energiegebruik op basis van fossiele energiedragers de oorzaak van CO<sub>2</sub>-emissies. Door efficiëntie verhoging van processen, aanpassing van energiebronnen (duurzame elektriciteit, duurzame waterstof) en hergebruik van energie worden deze emissies teruggedrongen. Dit is de scope van MMIP 7. Het heeft een wat meer korte termijn karakter en richt zich volledig op CO<sub>2</sub> neutraliteit van het industriële warmtesysteem.

MMIP 8 heeft een meer lange termijn karakter en richt zich op maximale elektrificatie (met gebruik van duurzame elektriciteit) en radicaal vernieuwde processen. 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. Deze aanpak wordt zowel in MMIP 6 als 8 teruggevonden.

In elk van de MMIP's wordt aandacht gegeven aan systeemstudies die visievorming, richtinggeving, kwantificering van de verschillende richtingen en verwachte bijdragen van technologieën en aanpakken tot doel hebben. De uitkomsten worden gebruikt om te bepalen of de (deel)programma's op koers liggen, dan wel bijgestuurd moeten worden. Overkoepelend aan de studies binnen de MMIP's zijn systeemstudies voorzien die enerzijds zorgen voor het adequate cijfermateriaal voor missiebrede keuzes, stand van zaken elders maar ook voor de onderbouwing van de visieontwikkeling voor de lange termijn ten aanzien van industrie, doorbraaktechnologie, ruimtelijke ordening, en analyses van maatschappelijke ontwikkelingen in samenhangend perspectief. Hier wordt nadrukkelijk samenwerking en afstemming gezocht met MMIP 13 van de IKIA, de doorsnijdende MMIP's en thema's en onderwerpen van de andere KIA's. Dezelfde aanpak wordt ook gehanteerd voor HCA, MIV en digitalisering.

De MMIP's zijn niet orthogonaal. Zij hanteren vanwege de aard van de oplosrichtingen wel elk een eigen stramien en tijdlijn. Op dit moment zijn er heldere afspraken welke onderwerpen per MMIP, focus krijgen. Periodiek zal moeten worden vastgesteld of de invulling nog optimaal is en of er bijstellingen nodig zijn. Onderstaand volgt een korte samenvatting voor de overkoepelende systeemstudies en per MMIP.

### 2.3.1 Systeemanalyse en -integratie industrie

Dit programmadeel is 'enabling' voor de drie MMIP's en vormt de verbinding met de specifieke systeemstudies in de MMIP's. Op industriesysteemniveau kennis en inzichten opgebouwd over de mogelijkheden tot technologische innovatie en waarde van industriële productie en bedrijvigheid in Nederland door universiteiten en instituten vanuit een circulair perspectief. Deze zal worden ingezet bij de dynamische innovatie programmering voor de periode 2020-2023 maar nog meer voor de periodes daarna. Om succesvol te zijn bij de invoering van nieuwe technologieën worden gedegen systeemanalyses uitgevoerd op diverse deelgebieden, het gaat dan om:

- Analyse van het innovatiesysteem-structuur: hierbij worden de actoren, netwerken, instituties (normen, waarden, regelgeving, etc.) en infrastructuur die de ontwikkeling en implementatie van de technologie beïnvloeden geïdentificeerd.
- Systeemfunctie analyse: hierbij wordt gekeken hoe de voorgaande structurele componenten de sleutel-innovatieprocessen invoering van nieuwe technologieën beïnvloeden.
- Identificatie van systeemproblemen die de implementatie van een technologie belemmeren.
- Onderzoek naar de ecologische gevolgen, maar ook naar ecologische mogelijkheden, moet aan de voorkant deel uit maken van de missie gedreven innovatie en niet vlak voor concrete projecten in de startblokken staan pas in milieueffectrapportages worden onderzocht op hun gevolgen

Kenmerk van de benadering is circulariteit van het nieuwe industriële systeem; de toekomstige inrichting daarvan is onzeker en vereist kennisontwikkeling door een (holistische) systeembenadering waarbij volledig rekening wordt gehouden met de dynamiek en complexiteit van industriële productiesystemen wereldwijd en waarin de specifieke comparatieve voordelen van Nederland en Noordwest-Europa tot uitdrukking moeten komen.

Circulaire systemen zijn niet in alle omstandigheden per definitie 'beter' dan lineaire systemen. Meer kwantitatieve onderbouwing is noodzakelijk om efficiënte inzet van middelen te monitoren en te waarborgen dat hun bijdrage aan duurzame koolstofarme systemen optimaal zal zijn. Inefficiënte circulaire systemen kunnen ook aanzienlijke sociale, economische en milieuschade veroorzaken (bv. door overmatig gebruik van vervoer en energie, of onaantrekkelijke werkomstandigheden, zoals bij de terugwinning van producten). Een ander belangrijk element dat meegenomen zal worden in de overwegingen is de beschikbaarheid van grondstoffen - koolstof, mineralen en metalen - en energiedragers, in termen van kwantiteit, kwaliteit, duurzaamheid en prijs, alsook de risico's van verstoring van de toevoer.

Hoewel de noodzaak om de effecten van de industriële waardeketen stroomopwaarts en stroomafwaarts te integreren vaak wordt erkend, blijft de integratie van de interacties in de bevoorradingsketen eerder ad hoc van aard en is de reikwijdte ervan vaak beperkt, waarbij de nadruk ligt op geselecteerde producten in plaats van volledige bevoorradingsketens, materiaalstromen, logistiek en de interactie ervan met andere bevoorradingsketens en/of systemen. Het succesvol inzetten van een innovatieagenda met betrekking tot circulariteit vereist daarom een sterke systeembenadering. Dit programmadeel is bedoeld voor de onderbouwing daarvan.

### 2.3.2 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 koolstof houdende grondstoffen nodig zijn kan onder andere biomassa worden ingezet. Er zijn vijf deelprogramma's:

1. Circulaire kunststoffen
2. Biobased grondstoffen voor producten en transportbrandstoffen
3. CCU (Carbon Capture and Usage – het gebruik van CO<sub>2</sub> als grondstof)
4. Circulaire non-ferro metalen
5. CCS

In MMIP-6 wordt in de deelprogramma's aandacht besteed aan a) ontwerp voor circulariteit, b) circulaire grondstoffen en productieprocessen en c) vertrouwen, gedrag en acceptatie

### 2.3.3 MMIP 7. Een 100% CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem.

Dit programma richt zich op het ontwerp en de (her)inrichting van klimaatneutrale energie- en warmtesystemen voor en optimale proces-efficiëntie van industriële clusters en bedrijven. Het doel voor 2050 is om de warmtevoorziening voor alle temperatuurniveaus volledig CO<sub>2</sub>-vrij te maken. De warmtevraag is drastisch gereduceerd door de toepassing van efficiënte processen en wordt ingevuld met duurzame bronnen. In 2030 is door power-to-heat oplossingen en inzet van duurzame warmtebronnen minimaal 5,3 Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie en een energiebesparing van 93 PJ bereikt.

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. Er zijn vijf deelprogramma's:

1. Maximering van proces-efficiency
2. Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag
3. Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie
4. Toepassing klimaatneutrale brandstoffen
5. Systeemconcepten voor warmte en koude

### 2.3.4 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.

Uitdagingen zijn kostenreductie en opschaling elektrische waterstofproductie en de ontwikkeling van klimaatneutrale brandstoffen en moleculen primair op basis van elektrochemisch conversie (in samenwerking met MMIP 6 en 11). Ontwikkeling van elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen vergroten de mogelijkheden voor elektrificatie. Combinatie met digitalisering biedt daarnaast richting 2050 kansen voor decentrale productieprocessen. Hiervoor is nieuwe kennis over veiligheid en proces 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. Er zijn vier deelprogramma's:

1. Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen
2. Flexibilisering en digitalisering
3. (Radical) procesvernieuwing
4. Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

### 2.3.5 Make or buy

Een onderbouwde make/buy beslissing kan alleen genomen worden voor concrete innovaties, die op het niveau van producten beschreven zijn. Deze MMIP's zijn allereerst uitgewerkt vanuit een maatschappelijke vraag (de Missie) naar innovatieopgaven en vanaf daar naar activiteiten. Voor alle innovatieopgaven is een analyse gemaakt, om de prioriteiten te bepalen (zie bijlage 2.11).

Bij deze analyse is ook de aanwezigheid van de waardeketen in Nederland gescoord. Er is onderscheid gemaakt in toelevering, integratie en services, om recht te doen aan de diverse rollen die bedrijven in de waardeketen kunnen hebben. Aanwezigheid van een van de drie onderdelen van de waardeketen in Nederland kan een reden zijn voor innovatie-inspanningen op dit gebied. Het type activiteiten dat al aanwezig is, bepaalt mede de insteek van een innovatietraject. Tegelijk moeten voor sommige innovaties de waardeketens nog worden opgezet, in Nederland maar ook in het buitenland. In dat geval kan kwalitatief de slaagkans worden afgeschat dat een dergelijke keten tot stand kan komen.

De make/buy beslissing is dus meegenomen in de prioritering die per deelprogramma is bepaald. Daarnaast is door Navigant een internationale verkenning gedaan naar de stand van zaken voor de geprioriteerde onderwerpen. Deze is gebruikt om het onderscheidend vermogen van Nederlandse innovatietrajecten te toetsen, en waar nodig beter te onderbouwen. Al deze elementen zijn meegenomen in de beschrijving van de deelprogramma's.

### 2.3.6 Raakvlakken, samenwerking en afstemming tussen de MMIP's 6-8

Binnen missie gedreven innovatiebeleid is koppeling van de vraag- en aanbodzijden van het innovatie-ecosysteem essentieel. Als beiden goed op elkaar aansluiten, zijn de voorwaarden optimaal voor het genereren en toepassen van innovaties die maatschappelijke problemen oplossen, en werkgelegenheid en economische groei realiseren. Dit uitgangspunt is gehanteerd bij het opstellen en uitwerken van de MMIP's. Ook in de uitvoering van de MMIP's is voor het halen van de doelstellingen samenwerking in de gouden driehoek tussen bedrijven (eindgebruikers, maakindustrie, ingenieursbureaus, kennisinstellingen en overheid c.q. overheden van essentieel belang. Dit moet gebeuren vanuit het onderschrijven van de gezamenlijke doelen van de programma's. Bij een complexe opgave als de uitvoering van de MMIP's voor het behalen van Missie C zijn er altijd gebieden van overlap en afhankelijkheid tussen programma's en gezamenlijke issues.

Onderstaand een eerste overzicht van de gebieden waar dit speelt.

- **Waterstof** productie (MMIP8) speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen van circulaire economie, met name op gebied van synthesegas gebaseerde circulaire koolstofketens in MMIP 6. Elektrochemische CCU-opties vallen ook onder de technologie die enabling is voor deze ketens. Als waterstof wordt gebruikt voor verwarming van hoge-temperatuur processen is er een link met MMIP7. Naast MMIP 8 is voor de waterstofketen het doorsnijdende Meerjarenprogramma Innovatie Watertof ontwikkeld, dat door alle MMIPs onder de IKIA heen loopt.
- **Elektrificatie** van een aantal specifieke zeer hoge-temperatuur processen >> 700 C met impact op site-brede warmte integratie en hergebruik vereist samenwerking tussen MMIP8 en MMIP7.
- **Procesvernieuwing** (MMIP8) om warmtevraag te verminderen (e.g. nieuwe droogprocessen) heeft ook raakvlakken met MMIP7.
- **Systeemanalyse en -integratie industrie.** Belangrijk is om de onderlinge samenhang tussen de MMIP's, de deelprogramma's en toekomstige ontwikkelingen op het gebied van industrie te ruimtelijke ordening, maatschappelijke ontwikkelingen en technologie te duiden en te onderbouwen. Dit is het onderwerp van een Systeemintegratie programma Industrie dat op missieniveau wordt aangestuurd. Dit programma is/wordt nauw afgestemd met MMIP 13 van de IKIA "Systeem Integratie".
- **Industrie relevante aspecten Maatschappelijk Verantwoord Innoveren.** Een belangrijke succesfactor van missie gedreven programma's is een integrale benadering inclusief een afweging van maatschappelijke impact. Invalshoeken en aspecten die onder Missie C worden meegenomen worden beschreven in paragraaf 2.4.
- **Digitalisering.** Digitalisering is een algemene trend die de industrie sterk zal beïnvloeden. Algemeen binnen de missie zijn bijvoorbeeld onderwerpen als data management of digital twins relevant. Tegelijk zijn er specifieke innovatietrajecten waar digitalisering een rol zal spelen, zoals bij volgen van grondstoffen (MMIP 6), bij energie-efficiency van aandrijvingen en process control (MMIP 7), of bij elektrificatie en flexibilisering (MMIP 8). De laatste categorie is binnen deelprogramma's ingevuld. Voor de algemene onderwerpen is in 2.6 ingevuld.
- **HCA.** Onder de human capital agenda voor Missie C valt de interactie tussen opleidingen en innovatie. Dit omvat het opleiden van technisch geschoold personeel op de terreinen van de innovaties, maar ook het meenemen van ROC's en HBO's in de innovatietrajecten. Dit is in 2.5 verder uitgewerkt.

Afstemming van de acties en voornemens tussen de MMIP's is van groot belang voor de coherentie en effectiviteit van de meerjarenprogramma's. Daartoe is een eenduidige en heldere governance structuur voor missie C en de MMIP's noodzakelijk. Hierbinnen zullen de stakeholders zoals TKI's, bedrijven, kennisinstellingen, verantwoordelijke ministerie, belangrijke regio's, vertegenwoordigers 'toeleverende KIA's, NWO en RVO, etc. vertegenwoordigd moeten zijn en een goed gedefinieerde rol vervullen met duidelijke benoeming van mandaat en regie.

## 2.4 Missie C en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren

Zoals reeds aangegeven bij het onderdeel Systeemanalyse en -integratie industrie is het nodig naar het geheel te kijken, dus op systeemniveau om de maatschappelijke impact van de energietransitie in de industrie inzichtelijk te maken. De (regionale) energietransitie loopt parallel aan andere maatschappelijke opgaven zoals klimaatadaptatie. Voor omwonenden zijn vaak de veiligheid, luchtkwaliteit en hinderaspecten (verkeersbewegingen, geluid en geur) van belang. Op maatschappelijk niveau gaat het veelal om ethische en politieke vraagstukken, zoals a) herkomst van toegepaste materialen, b) plaats van opwekken van elektriciteit, en c) verdeling van lasten en lusten (hoe realiseren we met de minste maatschappelijke kosten de grootste maatschappelijke meerwaarde, voor bewoners, ecologie en industrie samen?). De verdeling van lasten en lusten en de impact op ecologie, leefomgeving en welzijn zijn een resultante van wat er op deelgebieden gebeurt. Daarom is het belangrijk om in alle innovatiestappen zicht te houden op:

- Wat vragen de beoogde koper en gebruiker van de innovatie?
- Wat merken omwonenden van de innovatie (na opschaling)?
- Wat ondervindt en vindt de maatschappij van de innovatie?

In de MMIP's en deelprogramma's ligt het accent vooral op technologische innovaties maar voor missie gedreven innovatie gericht op de energietransitie is dit niet voldoende. Er zal zowel op missieniveau als binnen de MMIP's aandacht worden gegeven aan cruciale dimensies die nodig zijn om echt vaart te maken vanuit de vier invalshoeken ruimte, tijd, ecologie en participatie zodat het eindresultaat een competitieve, energie-efficiënte en duurzame industrie zal zijn, die zodanig in de leefomgeving is geïntegreerd, dat dit niet ten koste gaat van de ecologie (of de ecologie zelfs versterkt!) en nu en in de toekomst tot regionale trots leidt.

### **Algocratie**

De toenemende digitalisatie van de industrie en ontwikkeling van kunstmatige intelligentie brengt verschillende ethische kwesties, angsten en bezwaren naar voren. De grootste uitdaging voor het bedrijfsleven om hun digitalisatie bedrijfsstrategie te implementeren, is volgens recent onderzoek dan ook culturele weerstand. De aandacht voor de gevolgen van de toename van het gebruik van algoritmes en kunstmatige intelligentie als zelfstandig besluiten nemende entiteiten wordt samengevat in de term algocratie. Deze algoritmen zijn niet transparant, kunnen verkeerde verbanden leggen en menselijke vooroordelen op grote schaal verspreiden waardoor een black box-samenleving ontstaat waar niemand meer weet op welke manier algoritmen besluiten nemen en op basis van welke data. Digitalisering van de industrie leidt dus ook tot ethische en maatschappelijke vragen, die het verdienen om geadresseerd te worden binnen dit MMIP. Naast een gefaciliteerde dialoog is onderzoek nodig naar de designprocessen die de connectie met maatschappij waarborgen.

### **Industriële symbiose**

Industriële symbiose is een belangrijk middel tot verduurzaming. Een belangrijke barrière voor het aangaan van afname-, leververplichtingen aan nabijgelegen partijen, bijvoorbeeld door het leveren van restwarmte aan een woonwijk, is de vrees voor lock-in en het verlies aan vrijheid van handelen. Er moet aandacht worden gegeven aan de financiële en juridische consequenties van de samenwerking. Speciale aandacht is ook nodig voor juridische afspraken over (gedeelde) infrastructuur.

### **Strategieën voor participatie en communicatie**

Vanuit de missie is er behoefte aan strategieën die ervoor zorgen dat een heel veld van stakeholders in beweging gebracht kan worden om samen tot oplossingen te komen die bijdragen aan deze missie. Methodieken zoals Social Labs, Human Centered Design, Ontwerpend Onderzoeken, Design Thinking, Social Labs, Theory-U of een Future Search, nodigen (mits goed ingezet) een heel veld van actoren uit om in korte tijd met elkaar het grotere probleem scherp te krijgen vanuit alle relevante perspectieven. Deze methoden zullen waar nodig worden ingezet evenals nieuwe vormen van communicatie en interactie met behulp van gamificatie en digitale multimedia. Ontwikkeling van en onderzoek naar design parameters van deze vormen van (regionale) samenwerking, het delen van interventies en toolsets, en kennisuitwisseling tussen partijen wordt essentieel geacht. Daarnaast is er

behoefte aan interdisciplinair onderzoek naar gedrag en stimulering van gedragsverandering in transities. Voorzetting van NWO-programma's MARET en Transities en Gedrag zijn daarvoor een belangrijk middel.

### **Maatschappelijke Transformatie**

Er wordt te veel gedacht vanuit bestaande systemen. Naast het feit dat dit weinig ruimte laat voor disruptieve technologische ontwikkeling geeft het ook geen ruimte aan de maatschappelijke onzekerheid over de toekomst. We moeten leren over te stappen van exploratie en ontginnen van natuurlijke hulpbronnen naar fabricage van energiedragers en grondstoffen. Dat is een wezenlijk ander paradigma. Cruciaal is kostenreductie, wat alleen bereikt kan worden met hoge economische efficiëntie en integratie in de economische infrastructuur. De gebieden met de hoogste economische efficiëntie zijn verstedelijkte gebieden, en om daar een hoge energiedichtheid te bereiken is een hoge efficiëntie upstream met het sluiten van kringlopen op alle niveaus cruciaal. Industrialisatie van onze habitat op alle niveaus kan zeker niet worden uitgesloten en vereist te beginnen bij maatschappelijk debat: wat willen we is belangrijker dan wat kunnen we, en als MMIP er straks niet in slaagt agency te bewerkstelligen bij de burgers zonder opgelegde dwang dan heeft het gefaald.

## **2.5 Missie C en HCA**

Innovatie kan alleen succesvol zijn als er niet alleen wordt ingezet op het ontwikkelen en voortdurend vernieuwen van kennis en kunde, maar er ook voldoende professionals zijn met relevante kennis en kunde die nieuwe toepassingen kunnen ontwikkelen en op grote schaal kunnen implementeren. Deze kennis en kunde raken veel aspecten, zoals: feiten, handelingen, vaardigheden, ervaring en kennis van (sociale) systemen. Door de snel veranderende samenleving, technologische ontwikkelingen en urgentie met betrekking tot klimaat- en energietransitie heeft de arbeidsmarkt en met name het bedrijfsleven behoefte aan meer snelheid voor wat betreft het opleiden van professionals, vanzelfsprekend met relevante en toekomstgerichte kennis en kunde.

Het is van belang om partijen te bereiken (onderwijs en bedrijven) die bijdragen leveren aan het realiseren van de MMIP-ambities (in termen van kennisontwikkeling, -uitwisseling en -toepassing regionaal en nationaal en in het samenspel innoveren/ werken/ leren). Door de MMIP's zal een strategie te bepaald worden om te komen tot een optimaal samenspel van leren, werken en innoveren op de werkgebieden van de MMIP's. Er zal speciaal aandacht worden besteed aan onderzoek naar de rol van het beroepsonderwijs en learning communities als schakels in het innovatiesysteem teneinde hier meer inzichten in te verkrijgen. Beroepsonderwijs is onmisbaar is in innovatieverspreiding en zal een integraal onderdeel zijn van de voorgenomen activiteiten. Learning communities is als denkmodel verder ontwikkeld door de topsectoren om in een veranderende context (samenleving, technologie, arbeidsmarkt, etc.) een nieuw perspectief te geven op een 'leven lang leren en ontwikkelen'. Hierdoor ontstaan mogelijkheden om niet alleen de noodzakelijke vorderingen te maken met opbouw van kennis, maar ook het grootschalig verspreiden van kennis en kunde. Het is zaak om slimme strategieën te ontwikkelen om learning communities te bouwen. Parallel zullen deze programma's ook bijdragen aan het op volume brengen van relevante kennis en kunde. Daarbij is het van belang het palet aan kennis en kunde breed te definiëren; dus niet alleen in enge zin kennis en kunde gerelateerd aan de (technologische) uitdagingen.

De ontwikkeling naar meer geautomatiseerde en intelligente productieprocessen en slimme digitale hulpmiddelen ter ondersteuning van besluitvorming heeft een grote invloed op de functieprofielen van de toekomst. Diverse rapporten signaleren een alarmerend tekort aan geschikte mensen met voldoende kennis en vaardigheden hetgeen de ICT-gedreven Energietransitie ernstig kan vertragen. Voor de industriële MMIP's gaat het bij digitalisering om experts rond proces system engineering, advanced process control, data analysis, smart sensing en maintenance. De MMIP's zullen initiatieven ontplooiën richting relevante stakeholders.

Uit de inventarisatie al begin 2018 naar de behoefte aan investeringen in de fysieke omgeving van onderwijs en onderzoek blijkt dat dit een financieel uitdagend en urgent thema is voor pps' en (hbo en mbo) en regio's. Terwijl de fysieke omgeving een van de pijlers is waarop ontwikkeling, scholing en innovatie draait, naast een stevige kennisbasis en goed ontwikkeld netwerk. Deze drie pijlers zijn in

de praktijk sterk van elkaar afhankelijk. Fieldlabs zijn 'booming business' en bedrijven zien welke meerwaarde samenwerking in netwerken rondom dergelijke fieldlabs kan hebben voor de eigen innovatie en productontwikkeling. De MMIP's zullen in de uitvoering actief zulke fieldlabs opzetten en exploiteren.

## 2.6 Missie C en Digitalisering

Vooruitgang in digitale technologie maakt dramatische veranderingen in ons energiesysteem mogelijk en zet aan tot fundamentele verschuivingen in de energiesector en vraagt om nieuwe markt benaderingen. In het algemeen leidt inzet van digitalisatie door middel van energie monitoring, proces control en maintenance binnen 2-3 jaar tot een reductie van 8-30% energie binnen bestaande procesinstallaties. Er is een groeiende variëteit aan data bijvoorbeeld als gevolg van textmining van patenten en wetenschappelijke artikelen, en social listening waarbij sociale media een bron zijn voor informatie t.a.v. gemelde storingen. Daarnaast komen er steeds meer inline en SMART Sensoren binnen de industrie.

De technologische innovatie opgave voor de "smart" industry ligt niet primair binnen de topsector energie maar binnen de Topsector HTSM. Het is aan de MMIP's om te focussen op het toepassen van de beschikbare komende technologische mogelijkheden. Innovatieopgave binnen de topsector energie liggen er wel rond Advanced Proces Control en Process Analytical Technology.

Verdere focus zal liggen op het ontwikkelen van applicaties rond de diverse innovatieopgaven uit de diverse MMIP's. De erkende maatregelenlijst zal als centrale lijst voor de industrie worden gepositioneerd om te komen tot duurzame digitale keuzeopties.

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van de technologische thema's binnen HTSM die kunnen leiden tot implementatie onder Missie C.

Overzicht technologische thema's binnen HTSM, ondersteunt door NWO-calls, Smart Industry programma en onderzoek binnen universiteiten, CRO's en industrie

- Artificial intelligence (incl. machine and deep learning);
- Encryptie technologie;
- Digitale veiligheid;
- Blockchain of Distributed Ledger Technology (DLT), federated learning
- Data storage en industrial dataspace
- Sensoren
- Imaging technologies inc AR en VR
- Robotica
- Cyberphysical and embedded systems
- Digital twins

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de voor en tegens van digitalisatie in de industrie.

Pro van digitalisatie inzet in de industrie	Con van digitalisatie inzet in de industrie
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Snelle Return on investment</li> <li>▪ Breed inzetbaar over sectoren heen</li> <li>▪ Grotere Efficiëntie (Minder waste. Hogere yield, betere productkwaliteit, betere tracibility) Smart Manufacturing Technologies kunnen de energie-efficiëntie met 25% verbeteren en de operationele efficiëntie met 20% verhogen</li> <li>▪ Relatief Lage investeringskosten</li> <li>▪ Nieuw businessmodellen als servitization worden mogelijk door digitalisatie</li> <li>▪ Exportmogelijkheden van technologie</li> <li>▪ Reductie van energieverbruik met 8-30% binnen bestaande procesinstallaties.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nieuwe skills nodig: computational thinking, cybersecurity, digitale human machine interactie, etc.</li> <li>▪ Acceptatie van digitalisatie is soms laag bij management en operators</li> <li>▪ Er is een maatschappelijke discussie over inzet van AI omdat men vreest voor verminderde accountability, transparantie en bias in de (historische) data.</li> <li>▪ Strategie over data ownership is nog niet duidelijk en kan in de toekomstproblemen veroorzaken</li> <li>▪ Digitaal Veiligheidsrisico neemt toe en groeiende afhankelijkheid van communicatiediensten.</li> <li>▪ Standaards en referentiearchitecturen zijn nog in de maak. Te vroege implementatie van applicaties kan leiden tot vendor lock-in of hoge kosten bij overgang naar nieuw platform</li> </ul>

Er zijn een aantal acties nodig om de implementatie van de digitalisering in de industrie te versnellen:

- Toegepast onderzoek is voor onderwerpen dicht tegen toepassing in industrie aan zoals APC en AI in combinatie met (fysische) modellen, toepassing van smart sensoriek, toepassing van VR binnen ontwerpprocessen.
- Om te komen tot uitwisseling van data over sites, waardeketens heen of binnen digital twins is er behoefte aan referentiearchitecturen. Zij bieden een sjabloon voor het opstellen van specifieke architecturen en versnellen het ontwerpproces en kunnen helpen standaardisatie op het gebied van communicatie, encryptie, fysieke en applicatie interfaces te versnellen en inzichtelijk te maken. Dit is mede van belang om vendor-lock in te voorkomen. Tegelijkertijd dient de data zoveel mogelijk te voldoen aan de FAIR-principes (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Het delen van data vraagt ook om een duidelijk juridisch framework rond data eigenaarschap en beveiliging. De innovatieopgave hierbij is het zoeken naar nieuwe vormen van cryptografie.
- Er is behoefte aan ondersteunende coördinerende en ondersteunende activiteiten die aangeven hoe standaarden en internationale I40 (industrie normen zoals IDS (Industrial Data Space) en OPC-UA of Reference Architectural Model Industry 4.0 (RAMI 4.0) toegepast kunnen worden binnen de industrie en energietransitie.
- Digitale roadmaps op deelgebieden zoals sensoren en advanced proces control kunnen richting geven en duidelijkheid verschaffen over te verwachte ontwikkelingen.
- Calls voor demo projecten om beschikbare digitale technologieën zoals AI, sensoren, APC, PAT (TRL 9 en hoger) zichtbaar te maken en referentiesites te creëren.
- Verhoging bekendheid met digitale technologieën door fieldlabs en learning communities.
- Aansluiting met internationale partners in IEA kader, waar projecten gericht op digitalisering en energie-efficiency zijn gestart.
- Link met het IEA 4E EMSA-programma. Met name de Nederlandse bijdrage voor de Taak Digitalisering in de industrie – focus op productietechnologieën en aandrijvingen. Focus ligt op identificeren van technologieën, best practices, kansen voor stimulering, regelgeving (Ecodesign, Energie-efficiency) en economie (industrie, diensten, onderzoek en onderwijs, export).
- Valorisatie workshops samen met field labs, valorisatiecentra van universiteiten, kennisinstellingen en een aantal industriële partijen.



## 2.7 Randvoorwaarden

### 2.7.1 Ondersteunende infrastructuur

Er is behoefte aan een integrale infrastructuur en planning voor CO<sub>2</sub>-vrije energiedragers om opwek, transport, distributie, opslag en afname tegen de laagste maatschappelijke kosten te kunnen realiseren. Hierbij moeten nieuwe stranded assets worden voorkomen.

Waar warmte nu veelal met aardgas wordt opgewekt, zal in de komende jaren steeds meer elektriciteit nodig zijn voor de nieuwe efficiëntere unit operations alsook voor het nuttig (her)gebruik van warmte. Er zal duidelijkheid en zekerheid moeten zijn van de beschikbaarheid van voldoende, duurzame en betaalbare elektriciteit met tariefstructuren die passen bij de optimale flexibiliteit van het nieuwe efficiënte systeem. Voor een optimale planning van de ontwikkelingen is op de korte termijn vooral duidelijkheid nodig rondom de planning, ontwerp en prijsontwikkeling van deze infrastructuur.

Daar waar warmte in de omgeving wordt afgezet of gedeeld, zijn regionale warmtenetten nodig. Dit vergt helderheid rondom eigenaarschap, onderhoud en levering- en afnamegaranties.

Op diverse plaatsen zal duurzame warmte worden verkregen uit geothermie. Voor de boringen is een garantiesysteem nodig, en optimale uitrol zal ondersteund moeten worden met regionale warmtenetten.

### 2.7.2 Honoreren langdurige koolstofvastlegging in producten

Bedrijven worden afgerekend op de CO<sub>2</sub>-emissies die ze zelf uitstoten, ze worden niet beloond voor de CO<sub>2</sub>-emissies die ze elders in de keten voorkomen. Voor het tegengaan van klimaatverandering maakt het echter niet uit waar de CO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd. Deze spanning laat zien dat waar beleid vanuit een nationaal perspectief kosteneffectief is, dit suboptimaal kan zijn voor mondiale kostenreductie en investeringen in een circulaire economie kan ontmoedigen.

In de ontwikkeling naar een klimaat neutrale en circulaire economie zal de sturing op koolstofbehoud versus vermijden van fossiele CO<sub>2</sub>-emissies op een optimale manier moeten worden gebalanceerd. Het instrumentarium dat dit kan regelen zou prioriteit moeten geven in alle eindgebruikersmarkten naar de inzet van circulair koolstof. Er is behoefte aan een publiek-private overlegtafel die de mogelijkheden verkent en instrumentarium ontwikkelt voor instrumentarium dat koolstofvastlegging in producten honoreert.

### 2.7.3 Meerjarige financiering

Algemeen geldt dat innovatietrajecten in de procesindustrie kapitaalsintensief en lang zijn. Dat betekent dat een eenmaal ingezet traject vraagt om langjarig financieel commitment van de private partijen en van de overheid. Voor opties die nog niet op voldoende grote schaal of op een commercieel haalbaar kostenniveau zijn, is steun van de overheid nodig. De meerjarige looptijd vraagt om voorspelbare trajecten voor financiering, zodat de risico's op dat vlak beperkt zijn. Daarnaast is ook enige garantie op voortzetting nodig, bij bewezen succes. Een van de belangrijkste beperkingen in de huidige set aan financiële instrumenten voor innovatie is de sterke versnippering. Deze zorgt voor start-stop bewegingen in innovatietrajecten, en daarmee tot vertraging.

## 2.8 Samenwerking en afstemming

### 2.8.1 Met andere MMIP's in de IKIA

Om de juiste randvoorwaarden te creëren moet er samen worden gewerkt met andere MMIP's die onder andere missies vallen. De relatie met de andere MMIP's is per MMIP in de onderstaande schema's weergegeven:

MMIP 6: Sluiting van industriële ketens				
1 Hernieuwbare elektriciteit op zee	3 Versnelling energierenovaties in gebouwde omgeving	6 Sluiting van industriële ketens	9 Innovatieve aandrijving en gebruik duurzame energiedragers voor mobiliteit <b>- distributie en gebruik van hernieuwbare C-houdende brandstoffen</b>	11 Klimaatneutrale productie food en non-food <b>- C-vastlegging</b>
2 Hernieuwbare elektriciteit op land en in gebouwde omgeving	4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving incl. glastuinbouw <b>- warmte o.b.v. biobased grondstof - duurzaam gas</b>	7 CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem - toepassing klimaatneutrale brandstoffen (biobased grondstof, groen gas)	10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen	12 Land en water optimaal ingericht op CO <sub>2</sub> vastlegging en gebruik - zeewierproductie en raffinage - verdubbelde fotosynthese - productie en raffinage plantaardig eiwit voor food
	5 Nieuwe energiesysteem in gebouwde omgeving in evenwicht	8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen - elektrochemische en katalytische productie moleculen - solar cells		
13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem - ruimtelijke inpassing - inrichting infrastructuur - power to molecules, elektrochemische routes				

MMIP7: CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem				
1 Hernieuwbare elektriciteit op zee	3 Versnelling energierenovaties in gebouwde omgeving	6 Sluiting van industriële ketens  Inzet van biomassa voor grondstoffen, cascadering naar energietoepassing	9 Innovatieve aandrijving en gebruik duurzame energiedragers voor mobiliteit	11 Klimaatneutrale productie food en non-food  - Biomassa reststromen voor warmteproductie
2 Hernieuwbare elektriciteit op land en in gebouwde omgeving	4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving incl. glastuinbouw  - Geothermie, uitrol en risicoverlaging  - Warmte-uitkoppeling vanuit industrie	7 CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem	10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen	12 Land en water optimaal ingericht op CO <sub>2</sub> vastlegging en gebruik
	5 Nieuwe energiesysteem in gebouwde omgeving in evenwicht	8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen  - Radicale doorbraken in warmteprocessen		
13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem - <b>Warmte-infrastructuur en businessmodellen</b>				

MMIP8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen				
1 Hernieuwbare elektriciteit op zee  - grootschalige opwek tegen lage kosten	3 Versnelling energierenovaties in gebouwde omgeving	6 Sluiting van industriële ketens	9 Innovatieve aandrijving en gebruik duurzame energiedragers voor mobiliteit  - beschikbaarheid CO <sub>2</sub> neutrale brandstoffen	11 Klimaatneutrale productie food en non-food
2 Hernieuwbare elektriciteit op land en in gebouwde omgeving  - grootschalige opwek tegen lage kosten	4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving incl. glastuinbouw	7 CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem	10 Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen	12 Land en water optimaal ingericht op CO <sub>2</sub> vastlegging en gebruik
	5 Nieuwe energiesysteem in gebouwde omgeving in evenwicht	8 Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen		
13 Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem  - infrastructuur voor gas en elektriciteit				

## 2.8.2 Samenwerking met andere KIA's / regio's/internationaal

### Andere KIA's

Met de volgende KIA's is afstemming en samenwerking voorzien vanwege de duidelijke raakvlakken, vaak doordat de MMIP's het ontvangststation zijn vanwege specifieke ontwikkelde kennis en inzichten of technologieën. In de MMIP specifieke delen wordt daar waar mogelijk nader ingegaan op de specifieke onderwerpen. Het gaat om de volgende agenda's:

- KIA CE. Afstemming via de trekker van MMIP 6 en input vanuit de andere MMIP's.
- KIA Sleuteltechnologieën en sleutelmethodeologieën. In het overzicht behorend bij deze KIA is aangegeven welke MJP voorstellen interesse hebben vanuit Missie C. Het gaat met name over nieuwe materialen, digitalisering en nieuwe procestechologie inclusief elektrochemie. De TKI is vertegenwoordigd in het kernteam van deze KIA. Nader overleg over verdere invulling en afstemming moet nog plaatsvinden. De sleutelmethodeologieën (Key Enabling Methodologies KEM 's) gaan over sociaal maatschappelijke innovatie en de ontwikkeling van

kennis op dit gebied. De activiteiten aldaar sluiten heel goed aan bij de acties genoemd onder 1.4 Missie C en MVI.

- KIA 6 Topsector specifiek, in ieder geval onderdeel Mobiliteit.

### **Regio's**

In het Klimaatakkoord is voor de realisatie van de Klimaatdoelen een belangrijke rol weggelegd voor de voor de vijf grote industriële clusters en de twaalf grootste CO<sub>2</sub>-emitters. Dit zijn natuurlijk ook belangrijke partijen voor de innovatieagenda die een substantiële rol zullen moeten spelen in de valorisatie van de resultaten. Met alle clusters is afstemming geweest over de invulling van de MMIP's. In de MMIP- beschrijvingen wordt nader ingegaan op de te behalen synergie en de specifieke onderwerpen. Ons streven is een versterking van de gezamenlijk aanpak bij de uitvoering.

Via de regionale verankering is ook versterking mogelijk door grensoverschrijdende afstemming en focussering. Dit speelt in ieder geval in het Noorden richting Duitsland, bij Chemelot richting Duitsland en België, onder meer door middel van de trilaterale strategie en in de Deltaregio langs de kanaalzone met Vlaanderen.

Op de volgende pagina is een lijst opgenomen met regionale innovatieclusters, projecten en programma's, valorisatie-instrumenten en kennis- en onderzoeksinfrastructuur. Deze gegevens zijn door de regio's zelf aangedragen en hier ter kennisname overgenomen. Deze gegevens zullen als basis worden gebruikt om innovaties aan te laten sluiten bij regionale initiatieven. In veel gevallen zijn de genoemde programma's en/of organisaties al betrokken bij de innovatieprogramma's voor energie en duurzaamheid die op dit moment door de Topsectoren Chemie en Energie worden uitgevoerd. De regio's zijn aangeduid met de volgende afkortingen: [B] BOM, Noord-Brabant, [I] IQ, Zuid-Holland, [L] LIOF, Limburg, [N] NOM, Friesland, Groningen en Drenthe, [O] OostNL, Overijssel en Gelderland, [R] ROMs gezamenlijk, [Z] Impuls Zeeland, Zeeland.

Clusters	Majeure projecten/programma's	Valorisatie-instrumenten	Kennis- & onderzoeksinfrastructuur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• [B] biobased/ hergebruik materialen</li> <li>• [B] elektrificatie/radicaal vernieuwde processen</li> <li>• [I] chemische recycling</li> <li>• [I] transitie-agenda Kunststoffen</li> <li>• [I] Energiemix-studie</li> <li>• [L] Chemelot Industrial Park</li> <li>• [L] Circular Design Group</li> <li>• [L] Bio Treat Center</li> <li>• [L] Biobased Campus Limburg</li> <li>• [L] Source B</li> <li>• [N] diepe geothermie, Emmen</li> <li>• [N] Circulair Friesland</li> <li>• [N] NICE, Drenthe</li> <li>• [N] Biocooperative, Groningen</li> <li>• [O] Pioneering</li> <li>• [O] BOOST</li> <li>• [O] Texplus</li> <li>• [O] Cluster Advanced Materials Oost NL</li> <li>• [O] Industriële grootverbruikers regio Twente/Emmen/Ommen.</li> <li>• [O] MKB energietechnologie leveranciers</li> <li>• [O] Proeftuin industriële restwarmte</li> <li>• [O] BEON (Bio-energiecluster Oost-Nederland)</li> <li>• [O] Groen-gas cluster</li> <li>• [O] pyrolyse technologie cluster</li> <li>• [O] textiel cluster</li> <li>• [O] voedingsmiddelenfabrieken cluster</li> <li>• [O] Kiemt</li> <li>• [O] PSP</li> <li>• [Z] Smart Delta Resources</li> <li>• [Z] Biobased Delta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [B] Circular Smart Industry</li> <li>• [B] GreenH2ub</li> <li>• [I] Plastic P&gt;Act</li> <li>• [I] CCU Programma, ontwikkeling CO<sub>2</sub>-valorisatiekansen i.o.</li> <li>• [L, O] DNL-HIT</li> <li>• [N] CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem, Eemsdelta</li> <li>• [N] Energie-innovatieprogramma's</li> <li>• [N] elektrificatie Chemiepark Delfzijl</li> <li>• [O] Circotracks</li> <li>• [O] Diplast</li> <li>• [O] CESI</li> <li>• [O] vraaggestuurde standaarden recycelaat</li> <li>• [O] Circulair textiel</li> <li>• [O] Hotspot Circulaire Weginfra</li> <li>• [O] Proeftuin Recycling</li> <li>• [O] Sustainable Surfaces &amp; Membranes</li> <li>• [O] Circulair Kozijn</li> <li>• [O] DNL-HIT</li> <li>• [O] LEAP</li> <li>• [O] Smart Production</li> <li>• [O] PRODUCE</li> <li>• [O] FLEX-PRO</li> <li>• [O] Twence, CO<sub>2</sub>-afvang en -recycling</li> <li>• [O] Apollo, rubberrecycling</li> <li>• [O] Industriecluster Nouryon-Twence-Grosch-Apollo, restwarmte-uitwisseling</li> <li>• [O] Industriecluster regio Twente/Emmen/Ommen</li> <li>• [O] Circles</li> <li>• [O] Ultradiepe Geothermie Parenco</li> <li>• [O] Eerbeek 2030</li> <li>• [O] Bouwkeramiek 2030</li> <li>• [O] Sustainable Food Initiative</li> <li>• [Z] Smart Delta Resources-roadmap</li> <li>• [Z] P2H2, waterstofopwekking</li> <li>• [Z] grootschalige wierenteelt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [I] Fieldlab Verpakkingen</li> <li>• [L] Limburgs Energie Fonds</li> <li>• [N] Fieldlab Region of Smart Factories</li> <li>• [N] Fieldlab Technologies Added, collaborative manufacturing</li> <li>• [N] Nationaal Testcentrum Circulaire Plastics</li> <li>• [O] Gasfabriek Deventer</li> <li>• [O] Fieldlab TPC-NL (TPAC+TPRC)</li> <li>• [O] Polymer Science Park</li> <li>• [O] Texperium</li> <li>• [O] Fieldlab circulaire bouw</li> <li>• [O] Bronnet, warmtenetten</li> <li>• [O] Koekoekspolder, warmtenetten</li> <li>• [O] Pyrolyse-installatie</li> <li>• [O] demonstrator plants, Twente</li> <li>• [Z] Biobased Innovation Garden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [I] Biotech-campus Delft</li> <li>• [L] Brightlands Chemelot Campus</li> <li>• [L] Brightlands Campus Greenport Venlo</li> <li>• [L] Aachen-Maastricht Institute for Biobased Materials</li> <li>• [N] Chemie Campus Groningen</li> <li>• [O] Cirkelstad</li> <li>• [O] Universiteit Twente</li> <li>• [O] Radboud Universiteit, Institute of Management Studies</li> <li>• [O] WUR</li> <li>• [O] HAN</li> <li>• [O] Saxion</li> <li>• [O] Windesheim</li> <li>• [O] Elastomer Competence Centre</li> <li>• [O] BEON (Bio-energiecluster Oost-Nederland)</li> <li>• [O] KCPK (Kenniscentrum Papier en Karton)</li> <li>• [Z] CeO BBE</li> </ul>

[B] BOM, Noord-Brabant, [I] IQ, Zuid-Holland, [L] LIOF, Limburg, [N] NOM, Friesland, Groningen en Drenthe, [O] OostNL, Overijssel en Gelderland, [R] ROMs gezamenlijk, [Z] Impuls Zeeland, Zeeland

### **Internationale verankering en samenwerking**

De innovatieopgave zoals die onder Missie C is geformuleerd speelt natuurlijk niet alleen in Nederland. Ook in de landen om ons heen en de rest van de wereld moeten de emissies van broeikasgassen omlaag. In de MMIP's ligt de focus op innovatieopgaven die niet alleen relevant zijn voor Nederland, maar waarvoor Nederland ook relatief goed gepositioneerd is en dus ook concurrentievoordeel en export kan behalen. Tegelijkertijd wordt de programmering lopende de rit mede beïnvloed door, of afhankelijk van, innovatieopgaven van (buur)landen. Intensieve samenwerking met andere landen en overheden wordt door vanuit Missie C actief nagestreefd om schaalgroottes te bereiken en collaterale gevolgen van de voorliggende transitie aan te pakken.

Wat betreft samenwerking, ligt de Europese Commissie (bv Horizon Europe en het Innovatie Fonds) voor de hand. Daarnaast is er een andere zeer aantrekkelijke samenwerkingsmogelijkheid zowel binnen als buiten dit EU-kader: regionale crossborder samenwerking zoals beoogd in de Trilaterale Strategie. Deze is opgezet door de overheden van Nederland, Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen, en betreft een samenwerking tussen overheden, bedrijven en kennisinstellingen op basis van een gedragen strategische agenda.

Uitvoering van de Trilaterale Strategie geschiedt d.m.v. drie Tafels, waarbij de Innovatietafel door Nederland geleid wordt. Deze Innovatietafel is gericht op de opschaling, validering, demonstratie en integratie van technologieën en systemen (mede via de Energie- en Infrastructuurtafels) waarmee doelstellingen voor grondstoffen en energietransitie op efficiënte wijze binnen de drie regio's van de Trilaterale Regio kunnen worden bereikt.

Uitgaande van een diagnose van de broeikasgasemissies en hierdoor erkende behoeften van de chemische industrie zijn vanuit deze Innovatietafel 7 thema's en bijbehorende industriële vraagstellingen gedefinieerd.

Het ligt voor de hand specifieke calls zodanig op te zetten dat het meedoen aan deze vanuit de Overheden opgezette Trilaterale Strategie in beginsel een voordeel oplevert bij de evaluatie van de calls, ervan uitgaande dat deelnemende bedrijven mee investeren. Een weloverwogen koppeling van de nationale agenda (MMIP, InvestNL) met die van Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen (en vervolgens ook de EU) heeft namelijk voordelen:

- Het biedt de regionaal met Vlaanderen en NoordRijnWestfalen zeer nauw verbonden, maar in essentie internationaal-opererende (chemische) industrie (met vaak meerdere vestigingen binnen de Trilaterale Regio) een consistent regionaal innovatiebeleid binnen een gedeelte van de wereld dat er industrieel mondiaal toe doet;
- Trilateraal-geïnitieerde innovaties werken verbindend en hebben bij implementatie een vergrote impact: coherentie van de transitie in de regio, verhoging van de mondiale concurrentiepositie; gelijksoortige maatschappelijke impact in de drie landen met nieuwe mogelijkheden voor crossborder samenwerkingen inclusief grenswerkers;
- Het verhoogt de kansen voor innovatieve Nederlandse industrie en MKB voor crossborder waardeketens van een duurzame economie;
- Geïnduceerde consequenties voor de toekomstige infrastructuur van energie- en grondstoffen alwaar die van trilateraal belang zijn, worden door coherente innovatieagenda's beter manifest en kunnen alsdan gezamenlijk worden aangepakt;
- Het drukt de kosten en de risico's van het realiseren van de innovatieopgaven voor Nederland zonder dat dit ten koste gaat van resultaten waar Nederlandse partijen aan meewerken en directe toegang toe hebben.



## 2.9 Valorisatie en marktcreatie

### 2.9.1 Samenhangende programmering van valorisatie

Bij valorisatie zijn de volgende activiteiten te onderscheiden:

- Doorontwikkeling van kennis richting marktintroductie bij bedrijven: transfer van intellectueel eigendom en R&D-projecten voor alternatieve toepassingen.
- Bevorderen van startups/spin-offs: scouten, screenen, opwerken, begeleiden, investeringsrijp maken en financieren van kansrijke nieuwe bedrijven.
- Brede kennisverspreiding via bestaande bedrijven: individueel en via allianties van bedrijven, clusters van bedrijven en bredere (thematische) ecosystemen en met impact-gerichte aanpak;
- Beschikbaar stellen van faciliteiten: om nieuwe producten, diensten en methodieken te testen, valideren en vooral op te schalen.
- Ontwikkeling van menselijk kapitaal (Human Capital Agenda): versterken van onderwijs en opleiding voor technologie op alle niveaus.

Voor de verschillende onderwerpen technologieën in de deelprogramma's zijn er al veel activiteiten georganiseerd zowel landelijk als regionaal. Het is de intentie van de MMIP's hierbij aan te sluiten en middels specifieke acties te versterken. In de MMIP-specifieke hoofdstukken wordt daar waar nodig verder op ingegaan.

### 2.9.2 Samenhangende programmering van marktcreatie

Relevante sporen in marktcreatie zijn het aankoopbeleid van de overheid, financiële en fiscale prikkels, regelgeving en normering, en gedragsbeïnvloeding. De toepassing van technologie bij eindgebruikers staat hier voorop, niet de technologie als zodanig. Marktcreatie bij sleuteltechnologieën vereist daarom een programmering samen met maatschappelijke thema's, en wel op alle niveaus: regionaal, nationaal en Europees. Startups en scale-ups kunnen hier een grote rol spelen. Het vooruitzicht op een toekomstige markt kan de ontwikkeling van onderliggende technologieën belangrijk versnellen. Dit is een relevant gegeven in het licht van de hoge ambities bij de maatschappelijke thema's in het missie-gedreven innovatiebeleid. Bij een aantal missies is de gewenste oplossing niet beschikbaar of economisch niet haalbaar met de technologie van vandaag, ook niet buiten Nederland. Dit vraagt ontwikkeling van plannen gericht op nog niet bestaande markten, met richtinggevende investeringen vanuit de bij deze missies betrokken departementen.

### 2.9.3 Rol van ROM's en regio

ROM's en de regio kunnen van belangrijke toegevoegde waarde zijn voor de doorontwikkeling van sleuteltechnologieën. De ROM's en andere regionale fondsen waren in 2018 betrokken bij 60% van de bedrijven die een venture capital-investering hebben opgehaald. Dit betrof in de meeste gevallen jonge high-risk bedrijven, vaak gerelateerd aan in Nederland ontwikkelde fundamentele of toegepaste kennis. Door nog nauwere aansluiting van de ROM's op de resultaten van de MMIP's kan ook deze kennis versneld worden opgewerkt naar succesvolle startups. Doel van de samenwerking is de ROM's/regio beter te benutten als groeiversnellers.

## 2.10 Monitoring en evaluatie

In onze visie moet de governance van de drie MMIP's op missieniveau plaats vinden. Alleen dan is er een adequate afweging mogelijk tussen het belang van de verschillende opties en de mate waarin zij gaan en blijven bijdragen aan de missie en het Klimaatakkoord.

In de breedte is er behoefte aan een duidelijke monitoring en kwantificering van de voortgang, niet alleen op het niveau van technologieën, deelprogramma's, en algemene voortgang van de MMIP's maar ook op het niveau van de Missie en de doorsnijdende thema's. Toetsing aan voortschrijdend

inzicht gebaseerd op de resultaten van de systeemanalyses, systeemintegratiestudies, innovatieanalyses en MVI inzichten is gewenst. Criteria daarvoor dienen verder te worden ontwikkeld.

Voorgesteld wordt de Monitoring van de MMIP's op missieniveau met een frequentie 1 x per jaar te laten plaatsvinden waarbij het volgende bepaald moet worden:

- de gemiddeld bereikte TRL en SRL verandering per MMIP
- het geheel van de actuele geprognostiseerde ecofootprint reductie per MMIP
- het geheel van de actuele geprognostiseerde reductie aan behoefte aan primaire grondstoffen per MMIP
- het geheel van de actuele geprognostiseerde CO<sub>2</sub>-emissiereductie per MMIP
- het geheel van de verwachte percentuele kostenreductie (relevant voor m.n. de private partijen) per MMIP
- MMIP-specifieke indicatoren
- Niet voorziene maatschappelijke en andere effecten, gewenst en niet gewenst.

## Bijlagen

### 2.11 Procesbeschrijving

#### 2.11.1 Proces

EZK heeft opdracht gegeven aan de meest betrokken partijen per MMIP om de MMIPs uit de IKIA dusdanig uit te werken dat zij de basis kunnen vormen voor de inzet van kennisinstellingen, programmeringen, regelingen en overige innovatie-inzet in 2020 op het gebied van Klimaat en Energie.

Per MMIP is er 1 trekker aangewezen om de uitwerking te leiden, en is er een kernteam en expertschil aangewezen om aan de uitwerking bij te dragen. Voor de MMIPs 6-8 binnen missie C is Navigant benaderd om te ondersteunen.

In de uitwerking is de IKIA gebruikt als uitgangspunt. In workshops met de kernteams zijn de innovatieopgaven verder uitgewerkt, en de kernteams hebben teksten aangeleverd.

Vanwege de korte doorlooptijd en beperkte beschikbaarheid van de kernteamleden was het niet mogelijk om alle onderwerpen even diep uit te werken.

#### 2.11.2 Review

Er hebben twee reviews plaatsgevonden: de eerste reviewronde is geleid door EZK op basis van een "50% versie" en de tweede reviewronde is gedaan door industrie stakeholders op basis van een "80% versie".

De review vond plaats in een kort tijdsbestek, en daardoor was het niet mogelijk voor alle stakeholders om in detail feedback te geven. Daarnaast moest input snel worden geïnventariseerd en verwerkt. Door de beperkte tijd kon sommige input niet worden verwerkt. Er is wel getracht zo veel mogelijk input mee te nemen.

### 2.12 Criteria voor prioriteren innovatieopgaven

De innovatieopgaven zijn geprioriteerd aan de hand van 4 succes criteria die belangrijk worden geacht voor de slagingskansen van een innovatie:

- CO<sub>2</sub> reductiepotentieel
- Eigenaarschap binnen de industrie
- Aanwezigheid van (delen van) de waardeketen in Nederland
- Slaagkans van het innovatiesysteem

De kleurcodering bij de innovatieopgaves geeft aan welke score de opgaves hebben langs deze criteria en daarmee welke prioriteit ze hebben binnen de programmering van de MMIP.

- Opgaven die **donkergroen** scoren hebben een hoge prioriteit en moeten als eerste worden opgenomen in de MMIP.
- Opgaven die **groen** scoren hebben een gemiddelde prioriteit en worden toegevoegd als er voldoende budget beschikbaar is
- Opgaven die **lichtgroen** scoren hebben een lage prioriteit en worden mogelijk op een later moment in de MMIP opgenomen
- Opgaven die een **grijze** kleur hebben konden voor de prioriteit niet goed worden beoordeeld op de criteria

## 2.13 Financieringscategorisering

Om de financieringsbehoefte in kaart te brengen is er gebruik gemaakt van een categorisering die gelijk is tussen de MMIP's 6-8. De tabel hieronder beschrijft de categorieën.

Financieringsbehoefte	Afkorting	Beschrijving
<b>Fiscale instrumenten</b>	FIS	Aftrekposten en vrijstellingen op de belastingen die een partij normaal gesproken zou moeten betalen
<b>Subsidie - CAPEX</b>	SCA	Bijdrage aan de bekostiging van de investering via de overdracht van financiële middelen
<b>Subsidie - OPEX</b>	SOP	Bijdrage aan de bekostiging van de exploitatie via de overdracht van financiële middelen
<b>Subsidie – Kennis - Fundamenteel</b>	SKF	Bijdrage aan de bekostiging van ontwikkelen van basiskennis (rond uitzoeken principes, proof of concepts etc) via de overdracht van financiële middelen.
<b>Subsidie – Kennis – Toegepast</b>	SKT	Bijdrage aan de bekostiging van ontwikkelen van toegepaste kennis, bijv. bij pilots/demo's via de overdracht van financiële middelen.
<b>Subsidie – Kennis – Strategisch</b>	SKS	Bijdrage aan de bekostiging van ontwikkelen van strategische kennis (voor o.a. screening, roadmapping etc. – zoals nu met opdrachten en studies wordt gedaan) via de overdracht van financiële middelen.
<b>Garantie/ Borgstelling</b>	GAR	De overheid staat garant voor terugbetaling van een lening, nakomen van een overeenkomst, of vergoeding van de schade bij bepaalde (onverzekerbare) risico's
<b>Lening</b>	LEN	De overheid verschaft aan een partij een geldsom welke in principe moet worden terugbetaald, en waarbij bepaalde voorwaarden gelden (interest, looptijd, aflossingsvoorwaarden, prioriteit)
<b>Participatie</b>	PAR	Risicodragend kapitaal (eigen vermogen) verschaffen, en daarmee aandeelhouder worden
<b>Combinatie</b>	COM	Een combinatie van financieringsopties

## 3 MMIP8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen

### 3.1 Inleiding

#### **Concrete doelstellingen 2030 en 2050 van MMIP 8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen**

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 CO<sub>2</sub>-emissies meer hebben.

Hernieuwbare energie komt voornamelijk in de vorm van elektriciteit beschikbaar. Een belangrijk deel van de huidige energiedragers en grondstoffen voor de industrie is momenteel fossiel. Elektrificatie biedt de kans om de energiedragers via elektrolyse van water naar waterstof en elektrochemie naar duurzame brandstoffen en grondstoffen om te zetten. Naast Nationaal opgewekte hernieuwbare elektriciteit en energiedragers zal ook import van energiedragers uit hernieuwbare bronnen zich gaan ontwikkelen.

Groei van windenergie en zonneenergie vraagt om processen die flexibel worden geïntegreerd in een duurzaam energiesysteem. De industrie zal door zijn grote afnamecapaciteit een belangrijke rol gaan vervullen bij de levering van flexibele capaciteit aan het elektriciteitssysteem. 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 gaan hand-in-hand samen. Flexibele processen ontwerpen en in operatie aansturen gebeurt traditioneel al digitaal. Door sectorkoppeling, industriële symbiose en flexibele wisseling van hernieuwbare energie vormen zal er een grotere vraag komen naar delen van data waarop nieuwe energiemarkten vormgegeven zullen worden. Richting 2050 bieden deze ontwikkelingen kansen voor verhoogde efficiency, decentrale productieprocessen en on-demand productie.

Proces vernieuwing speelt een belangrijke rol bij het emissievrij maken van de industrie. De huidige processen zijn ontwikkeld zonder CO<sub>2</sub> emissiebeperkingen. Voor emissievrije processen is vernieuwing van de processen, o.a. door elektrificatie, intensificatie en door toepassing van radicaal nieuwe concepten van groot belang. Een gezond innovatie ecosysteem met experimentatie en onderzoeksruimte zal dit moeten helpen realiseren.

#### **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 3 radicale doorbraken in CO<sub>2</sub>-intensieve processen zijn op pilotschaal bewezen.
- Een industrie met maatschappelijke meerwaarde en in balans met ecologie en landschap

### 3.2 Inhoudelijke beschrijving van het MMIP

De industrie heeft binnen het klimaatakkoord een grote opdracht tot CO<sub>2</sub> emissie reductie. Voor 2030 heeft de industrie vanuit het Klimaatakkoord een opgave voor reductie van 14,3 Mton aan broeikasgassen, en een emissieplafond van 35,7 Mton in 2030 na uitvoering van het akkoord. Dit is inclusief de emissies van winningsbedrijven en de afvalsector. Die emissies moeten daarna verder dalen richting nul in 2050.

Binnen MMIP8 zijn drie grote maatschappelijke trends die samenkomen en een belangrijke rol spelen bij het bereiken van deze verduurzamingsopgave:

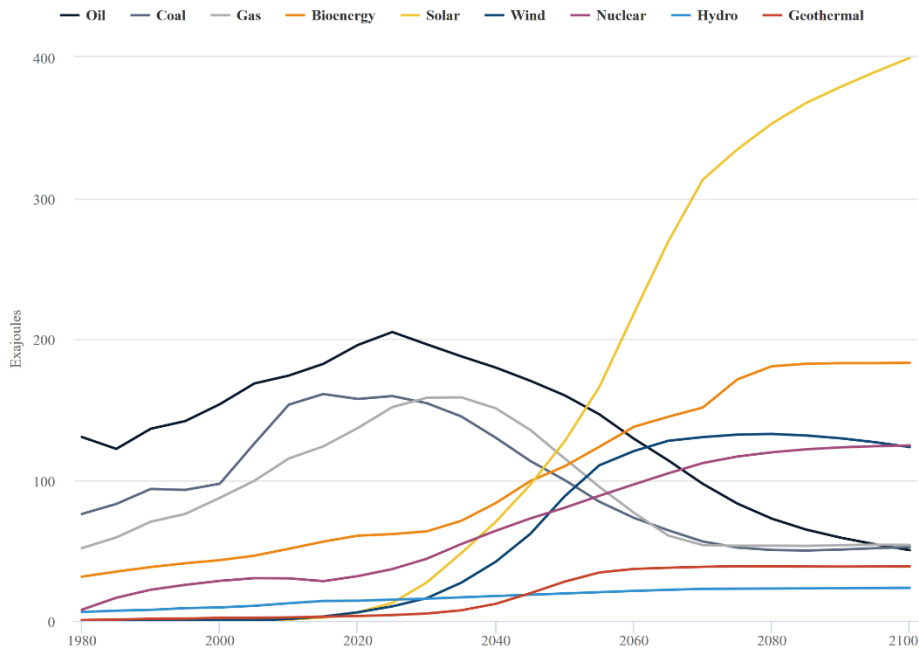
- De wens tot vergaande benutting van wind- en zonne-energie wat duurzame elektriciteit oplevert en aanzet tot elektrificatie van de industrie
- Procesvernieuwing als driver en zoektocht naar CO<sub>2</sub> neutrale, schone en energie-efficiënte processen
- Verregaande digitalisering als enabler voor vernieuwing van ontwerp tot operatie tot ontstaan van nieuwe ketens

### *Elektrificatie*

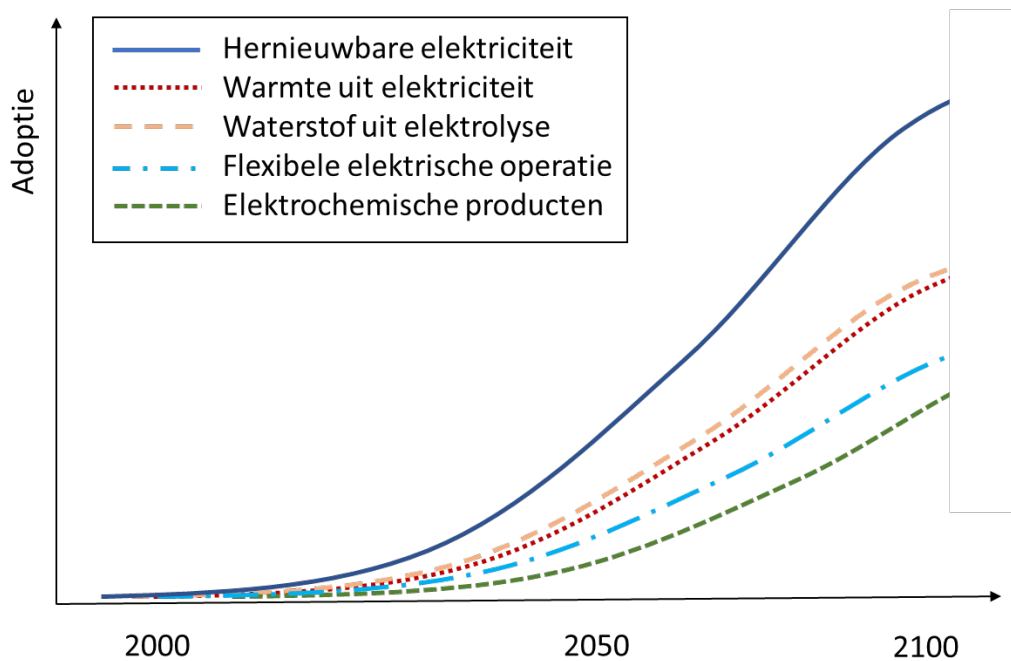
De ontwikkeling van grootschalige duurzame energie opwek kan een grote bijdrage leveren aan de reductie van CO<sub>2</sub> emissie van de industrie. Gedreven door de doelstellingen van Parijs om klimaatverandering binnen de 2 °C temperatuurstijging te houden zal de groei van duurzaam geproduceerde energie de komende eeuw sterk toenemen. In figuur 1 wordt een prognose weergegeven uit het Shell Sky scenario. Deze laat vanaf de jaren 20 een zeer sterke groei zien van duurzame elektriciteit uit PV en wind. Deze ontwikkeling wordt mede mogelijk gemaakt door de continu voortschrijdende innovatie in de productie van PV technologie (bijvoorbeeld door toepassing van flexibele roll-to-roll geproduceerde zonnecellen geïntegreerd in landschap en leefomgeving) en wind technologie (steeds grotere en efficiëntere windturbines en steeds efficiëntere ketens van productie tot installatie en onderhoud). De voortgaande innovatie en toenemende efficiency leidt tot structurele kostendaling (learning curves) die deze grootschalige uitrol op zo'n grote schaal betaalbaar en technisch mogelijk maakt.

De industrie kan van deze duurzame elektriciteit op verschillende manieren gebruik maken. Een belangrijke bijdrage zit in de inzet van de warmtevraag, goed voor bijna 70% van de industriële CO<sub>2</sub> emissies. De uitwerking van deze innovatie opgave is hoofdzakelijk opgenomen in MMIP7 Naast warmte kan deze elektriciteit via elektrochemie gebruikt worden voor productie van moleculen. Waterstof door splitsing van water met behulp van elektrolyse zal een belangrijke rol gaan spelen. De waterstof die hiermee geproduceerd wordt kan direct in de industrie ingezet worden als duurzame grondstof in bestaande grootschalige toepassingen zoals ammoniak en methanol synthese en in raffinage, en in nieuwe routes gebaseerd op synthese gas, mengsel van koolstof monoxide (CO) en waterstof (H<sub>2</sub>). Elektrisch gedreven omzetting van CO<sub>2</sub> en CO voor productie van duurzaam geproduceerde brandstoffen en materialen vormt daarbij een belangrijke optie voor grootschalige inzet van duurzame elektriciteit. Naast de toepassing van duurzame waterstof en duurzame koolwaterstoffen als grondstof is ook het energetisch gebruik voor opwek van hoge temperatuurwarmte een belangrijke potentiële toepassing.

Duurzame opwek heeft ook als eigenschap dat de productie minder goed voorspelbaar is. De groei van intermitterende bronnen leidt tot een toename van de behoefte aan flexibiliteit. Wanneer in vergaande mate gebruik gemaakt wordt van wind- en zonne-energie zal er naast flexibiliteit op procesniveau ook behoefte ontstaan aan centrale buffering en grootschalige opslag van die energie. Daarbij moet rekening gehouden worden met de ontwikkeling van nieuwe ketens waarbij ook import en export van duurzame producten een grote rol in het toekomstige energiesysteem zal gaan spelen.



**Figuur 1:** Prognose van wereldwijde ontwikkeling van de energiemix tot 2100 in het Shell Sky scenario. Bron: Carbon Brief - In-depth: Is Shell's new climate scenario as 'radical' as it says? (2018)



**Figuur 2:** Schematische verbeelding van de groei van inzet van duurzame elektriciteit voor warmte, waterstof, flexibele elektrische operatie en afgeleide elektrochemische producten die kan volgen op de groei van duurzaam opgewekte elektriciteit.

In figuur 2 wordt een beeld geschetst van het tempo waarin deze opties zich kunnen gaan ontwikkelen. De ontwikkeling van duurzame elektriciteit loopt daarin voorop aangezien uitrol momenteel wereldwijd plaatsvindt en innovatie daarin een versnelling teweeg brengt. Conversie naar warmte zal zich via diverse opties gaan ontwikkelen (o.a. via boilers, warmtepompen en grootschalige hoge temperatuurprocessen). Grootschalige ontwikkeling van elektrolyse zal met een vertraging kunnen gaan groeien. De hele keten van grootschalige productie van elektrolyse apparatuur zal zich moeten gaan ontwikkelen. Daarbij zal vraagstimulering via o.a. regelgeving een versnellende werking kunnen hebben. Volgend op de uitrol van grootschalige elektrische opwek zal ook flexibele operatie in het net een rol gaan spelen. Aangezien dit uit een mix van opties zal bestaan is het lastiger te voorspellen in welk tempo dit gaat plaatsvinden en welke mate van opname hierin belangrijk is, maar het zal zeker toenemen in de loop van de tijd. De laatste grote stap, elektrochemische conversie naar chemische producten, zal ook een belangrijke bijdrage kunnen gaan leveren. De IPCC scenario's<sup>2</sup> laten o.a. het belang van negatieve emissies zien om klimaatverandering te beperken en noodzakelijk om het 2 °C scenario te bereiken. Hierin kan deze routes een belangrijke rol spelen maar de technologie zit op dit moment nog op lage TRL niveaus. De opschaling en wereldwijde uitrol kan relatief snel gaan en kan door te leren van uitrol van waterstof versnellen, maar zal dus waarschijnlijk volgen in adoptiegraad en tempo. Voor al deze trajecten is het duidelijk dat innovatie een belangrijke pijler is voor het bereiken van snelheid in de uitrol van nieuwe productieprocessen en -routes.

### **Vernieuwing**

Een andere les die de verschillende groeiscenario's laten zien is dat emissiereductie om meer vraagt dan waar elektrificatie in kan voorzien. Om onze doelen in het tijdsbestek tot 2030 te halen en om te zorgen dat we ook op de lange termijn naar nul-CO<sub>2</sub> emissie komen zal proces vernieuwing een heel belangrijke rol spelen.

Bijna alle processen in de industrie zijn ooit ontwikkeld zonder restricties ten aanzien van emissies van broeikasgassen. Daardoor komen bijna alle industriële processen van vandaag in aanmerking voor grondige vernieuwing. De emissie zoals gedefinieerd in het kader van het Klimaatakkoord zat in 2017 op 58,2 Mton broeikasgasemissies, onderverdeeld naar 46,5 Mton door de industrie, 9,8 Mton door de afvalsector en 1,9 Mton door winningsbedrijven.

Met zo'n grote opgave is het verstandig te beginnen met het in kaart brengen en groeperen van processen. Van een totale uitstoot aan broeikasgassen door de industrie in 2017 van 46,5 Mton komt bijna 80% voor rekening van de staalindustrie, de olieraffinage en de chemie. Bijbehorende cijfers zijn:

- Staalindustrie: 7.3 Mton,
- Olieraffinage: 10,1 Mton
- Chemische industrie: 19,6 Mton

De overige emissies zijn kleiner. De voedingsmiddelenindustrie is goed voor circa 4,3 Mton per jaar, Bouwmaterialen (o.a. glas en baksteen) levert ongeveer 1,7 Mton per jaar, en papier 0,9 Mton. Tenslotte is er nog een brede waaier aan overige sectoren die circa 2,6 Mton uitstoot opleveren.

Reductie van de emissies in de afvalsector zijn interessant in het kader van het thema "Sluiten van industriële ketens" (MMIP 6). De emissies zijn voornamelijk het gevolg van de verbranding van afval. Vanwege een te verwachten toenemende behoefte aan duurzame koolstof als grondstof voor de chemie en synthetische brandstoffen lijkt vergassing van afval tot een syngas een betere optie. Dit syngas kan dan aardolie vervangen als basis voor brandstoffen en chemische producten en materialen.

---

<sup>2</sup> <https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/>



### *Staalindustrie*

Binnen de staalindustrie is vergaande CO<sub>2</sub>-emissiebepreking mogelijk door slimmer en efficiënter gebruik van grondstoffen in een vernieuwend proces. Het Hisarna proces bij TATA Steel is ondertussen ver ontwikkeld en gereed voor verdere demonstratie en opschaling. Het proces maakt nog wel steeds gebruik van steenkool, maar op termijn is gedeeltelijke of gehele vervanging hiervan door aardgas, biomassa of zelfs waterstof wellicht mogelijk. Ook conversie van de restgassen via syngas naar producten behoort hier tot een van de lange termijn routes.

### *Raffinaderijen en (petro)chemische industrie*

Binnen de gecombineerde olieraffinage en chemiesectoren komt een kwart van de emissies voor rekening van de productie van waterstof die in de olieraffinage wordt gebruikt voor ontzwaveling en hydro-cracking, en in de chemische industrie vooral wordt gebruikt voor de productie van ammoniak en methanol. Bijna de helft van de emissies is het gevolg van de productie van hoge temperatuur (proces)warmte voor met name destilleren, kraken en reformen. Een deel hiervan is het gevolg van verbranding van aardgas. Het andere deel is het gevolg van de verbranding van restgassen die overblijven bij het raffineren en kraken van ruwe aardolie en aardolieproducten. Deze restgassen zijn het gevolg van het verwerken van aardolie voor de productie van brandstoffen en grondstoffen voor de chemische industrie. Deze kunnen dus niet worden vermeden zolang aardolie de basis voor deze producten vormt. De restgassen worden nu ingezet voor ondervuring van fornuizen en in WKK installaties op locatie voor de productie van elektriciteit en stoom.

Deze brokken leveren aanknopingspunten voor grootschalige reductie van emissies door procesvernieuwing. Opties zijn:

- CO<sub>2</sub>-reductie bij de productie van waterstof:
  - Toepassen van CCS bij de huidige productie. In dit geval blijft de bron aardgas, maar emissies kunnen met circa 60% tot 95% worden gereduceerd afhankelijk van het type reformingsproces en procesontwerp voor afvang. CCS wordt verder uitgewerkt in MMIP 6.
  - Vervanging van de huidige productie van waterstof op basis van aardgas door waterstof op basis van gedecarboniseerde restgassen uit de olieraffinage en naftakrakers. Het is niet duidelijk of en in hoeverre restgassen worden gebruikt als bron voor waterstof, en wat daarvan de potentie is (zie ook 'reductie van emissies van restgassen').
  - Elektrificatie van de waterstofproductie door vervanging van de huidige productie door water-elektrolyse. In dit geval is water de basis voor het waterstof. De splitsing van water gebeurt met elektriciteit. Voorwaarde voor grootschalige productie van waterstof langs deze route is dat die aangedreven wordt door duurzaam opgewekte elektriciteit. Bij een emissiefactor van meer dan ongeveer 160 g CO<sub>2</sub>/kWh is deze optie koolstofintensiever dan reforming van aardgas. Elektriciteit is echter eenvoudiger te verduurzamen dan aardgas. Wanneer de elektriciteit volledig duurzaam is dan is dit een volledig duurzame optie.
  - Vervanging van de huidige productie van waterstof door een nieuw reforming-proces op basis van pyrolyse waarbij koolwaterstoffen (methaan en lichte koolwaterstoffen) niet worden omgezet naar waterstof en CO<sub>2</sub>, maar worden gesplitst in waterstof en vaste koolstof. Er zijn verschillende uitvoeringsvarianten mogelijk waarvan een aantal bijdragen aan elektrificatie zoals plasma-kraken en molten metal. Alle ontwikkeling is voorlopig gericht op pyrolyse van aardgas. Het zou echter ook kunnen met biogas en groen gas, hoewel de beschikbaarheid daarvan beperkt is en inzet elders meer (maatschappelijke) waarde kan hebben. Dit proces kan wellicht ook worden toegepast voor decarbonisatie van restgassen (zie ook 'reductie van emissies van restgassen').
  - Foto-elektrochemische splitsing van water. Bij deze optie vormt water ook de basis voor het waterstof. Het water wordt onder invloed van licht direct gesplitst in waterstof en zuurstof. De technologie combineert zon-PV en elektrolyse in een. De ontwikkeling bevindt zich echter nog wel op laag TRL-niveau en kent aanzienlijke uitdagingen op het gebied van materialen.

Vooralsnog lijkt het toepassen van CCS op bestaande productie de meest voor de hand liggende optie. Randvoorwaarde is wel de beschikbaarheid van een gezamenlijke infrastructuur voor afvoer en opslag van CO<sub>2</sub>. Elektrificatie door inzet van water-elektrolyse en pyrolyse van koolwaterstoffen is wellicht eerder een optie bij invulling van noodzakelijke uitbreiding van waterstofproductie. In dit geval leidt het niet tot reductie, maar in ieder geval ook niet tot stijging van de emissies in de industrie. Uiteindelijk biedt alleen water-elektrolyse uitzicht op volledig duurzame productie.

- Vervanging van de inzet van aardgas door het elektrificeren van de productie van hoge temperatuur warmte voor kraak-, scheidings- en conversieprocessen in de olieraffinage en de petrochemie (naftakrakers en vervolg kraak- en de-hydrogeneringsprocessen). Overigens vormt aardgas maar een beperkt deel van de brandstoffen die worden ingezet voor productie van hoge temperatuur warmte. Bij raffinaderijen is het 15-20% en bij verwerking van nafta, aardgascondensaat en LPG tot basischemicaliën voor de chemische industrie is het 35-40%. Het resterende deel wordt gevormd door restgassen die overblijven bij verwerking van de aardoliegrondstoffen en -producten. Die kunnen alleen worden vervangen door restgassen voor andere doeleinden in te zetten (bijvoorbeeld productie van waterstof of synthetische brandstoffen) of door vervanging van aardolie als grondstof.
- Decarboniseren van de restgassen voordat ze worden ingezet in vervolgprocessen. Reductie van emissies van restgassen kunnen worden teruggedrongen via:
  - Post-combustion CCS, d.w.z. afvangen van CO<sub>2</sub>-emissies uit de rookgassen na inzet van de restgassen in fornuizen en WKK-installaties. CCS wordt verder uitgewerkt in MMIP 6
  - Pre-combustion CCS, d.w.z. reforming en shift van restgassen naar CO<sub>2</sub> en waterstof met afvang van de geconcentreerde CO<sub>2</sub> stroom, waarna waterstof kan worden ingezet als brandstof of industrieel gas. Het is niet duidelijk of en in hoeverre restgassen worden gebruikt als bron voor waterstof, en wat daarvan de potentie is. CCS als onderwerp is verder uitgewerkt in MMIP 6.
  - Inzet voor de productie van waterstof in een nieuw reforming-proces op basis van pyrolyse waarbij koolwaterstoffen (methaan en lichte koolwaterstoffen) worden gesplitst in waterstof en vaste koolstof – in MMIP8 opgenomen.
- Voorkomen van de productie van restgassen door vervangen van aardolie en aardolie-producten door chemische processen die producten synthetiseren op basis van een duurzame vorm van koolstof (CO of CO<sub>2</sub>) en hernieuwbare waterstof. Hier zijn ook weer een aantal alternatieven te onderscheiden:
  - Vergassing van biomassa, biomassa-reststromen en afval, zonodig in combinatie met reforming van het productgas tot een syngas dat kan worden gebruikt voor de productie van koolwaterstofgrondstoffen (o.a. methanol-synthese en Fisher-Tropsch synthese) voor de chemische industrie en voor synthetische brandstoffen. Met name biomassa-reststromen en afval zijn interessant vanuit het oogpunt van circulariteit. Er zijn verschillende uitvoeringsvormen voor vergassing. Grote aandachtspunten vormen veelal de voorbereiding van grondstoffen tot een homogeen product en reiniging van productgassen. Superkritische vergassing lijkt in dit verband een uitzondering te vormen en is daarmee een veelbelovende technologie. Verdere uitwerking van de innovatie-opgaven rond vergassing vormt onderdeel van MMIP 6.
  - Hoge temperatuur elektrolyse of co-elektrolyse van CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O tot CO en H<sub>2</sub>. Hierbij kan de CO<sub>2</sub> in eerste instantie nog afkomstig kan zijn van fossiele CO<sub>2</sub> puntbronnen die voorlopig niet zijn te vermijden. Uiteindelijk moet worden gestreefd naar CO<sub>2</sub> afkomstig van verbranding van afval, van groen gas en biobrandstoffenproductie, of direct uit de atmosfeer (Direct Air Capture). In dat laatste geval verdwijnt ook de productie van biomassa uit de keten. De inzet van water, CO<sub>2</sub> uit de lucht en duurzame elektriciteit levert een volledig duurzame en hernieuwbare grondstoffen-basis voor de chemische industrie en de productie van synthetische brandstoffen.
  - Directe productie van belangrijke basischemicaliën uit water, kooldioxide en stikstof via elektrochemische syntheseroutes en -processen. Plasma-chemie speelt hierbij onder andere een belangrijke rol. Mogelijkheden voor elektrochemische productie

van stikstofdioxide, ethaan en mierenzuur zijn al aangetoond. Deze ontwikkelingen bevinden zich echter nog in een zeer vroeg ontwikkelingsstadium.

#### *Overige industrie*

De overige industrie omvat een brede waaier van sectoren en bedrijven. Een grote gemene deler in een aantal daarvan, met name de voedingsmiddelenindustrie (waaronder de zuivelindustrie) en papierindustrie, is de warmtevraag voor droogprocessen op relatief lage temperatuur. Die warmtevraag wordt nu ingevuld met aardgas. Binnen MMIP 8 “Elektrificatie en Procesvernieuwing” worden de volgende opties beschouwd voor vervanging of het vermijden van die aardgasvraag:

- Elektrificatie van droogprocessen waardoor aardgas wordt vervangen door elektriciteit als energiedrager voor de productie van lage- en midden temperatuur warmte. Elektrificatie is ook een energie-efficiency optie en wordt ook beschouwd in MMIP 7 (Warmte), zoals elektrische, drukgedreven droogprocessen en superheated steam (damprecompressie).
- (Door)Ontwikkelen van een watervrij proces voor de productie van papier.

Een ander groter blok binnen de overige industrie is de behoefte aan hoge temperatuur warmte in de glasindustrie en de baksteenindustrie die beide onderdeel zijn van de bouwmaterialenindustrie. Elektrificatie of inzet van waterstof als vervanging van warmte uit aardgas kan echter aanzienlijk invloed hebben op de productkwaliteit en vereist mogelijk procesaanpassingen. De inzet van waterstof als brandstof voor hoge temperatuur warmte (o.a. brandersystemen voor hoge concentraties en puur waterstof) is geen onderdeel van MMIP 8 maar komt aan de orde in MMIP 7. Het onderwerp heeft een relatie met MMIP 8 door elektrificatie van de productie van waterstof via elektrolyse.

#### **Digitalisering**

Digitalisering is een derde belangrijke driver voor innovatie in de industrie die bijdraagt aan CO<sub>2</sub> emissie reductie. Er is al vanaf de jaren 50 aandacht voor toepassing van digitale technologie in ontwikkeling, optimalisatie en operatie van industriële processen. Met de opkomst van steeds grotere computationele capaciteit in de afgelopen 10 jaar (met opkomst van cloud diensten, analytics, nieuwe sensor technologie en vele andere mogelijkheden) nemen de mogelijkheden voor de inzet van digitale technologie zeer toe. Dit richt zich op de volgende drie hoofd-onderdelen:

- Ontwerp en operatie voor flexibiliteit – van moleculair tot keten worden digitale technieken gebruikt om alle facetten van productieketens te begrijpen en te beheersen. Dit vertaalt zich naar procesontwerp, ontwerp van unit-operations, plant design en engineering, en site- en ketenontwerp. De recente trend van digital twinning wordt uit de maakindustrie vertaald naar de procesindustrie en levert een belangrijke bijdrage aan het verder optimaliseren van de procesindustrie.
- Procesdata voor betrouwbare flexibele operatie; er komt steeds meer procesdata beschikbaar. Digitale technologie helpt met de vertaling van data naar informatie naar inzichten waarop beslissingen genomen kunnen worden. Dit speelt een grote rol in proces besturing, in onderhoud (condition-based maintenance) en in optimalisatie van bedrijfsvoering. Dit vormt ook de basis waarop digitale technieken flexibele proces operatie mogelijk maken.
- Integratie en koppeling van ketens en markten - grootschalige duurzame energie introduceert nieuwe markten. De aansluiting van industriecomplexen op deze markten zullen voor een groot deel data-gestuurd gaan worden. De vraag is hoe deze markten eruit gaan zien en hoe de koppeling tussen verschillende energie markten en industrie operatie een sturende rol kunnen gaan spelen in de operatie.
- Inzet van digitale technologie over de hele industriële keten vereist zowel specialisten met kennis van industriële processen en operaties, als specialisten met state-of-the-art kennis op gebied van digitale technologie en applicatie kennis, data management en analytics. Beschikbaarheid van expertise op dit kruispunt van disciplines is een grote bottleneck die voor de slagkracht van vernieuwing van de industrie op dit gebied hoog noodzakelijk is.

### 3.3 Toelichting op de deelprogramma's

Vanuit de drie trends (elektrificatie, proces vernieuwing en digitalisering) zijn de deelprogramma's geformuleerd waaruit het MMIP 8 is opgebouwd:

1. *Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen*  
Binnen deze programmalijn wordt duurzame productie van waterstof, chemicaliën en brandstoffen in drie deelprogramma's uiteengezet:

#### *Water-elektrolyse voor de elektrificatie van de productie van waterstof*

De productie van waterstof door water-elektrolyse speelt een belangrijke rol als elektrificatie-optie. Kostenreductie is essentieel. Die optie is vooral nodig voor grootschalige buffering en opslag van wind- en zonne-energie en benutting van die energie voor de verduurzaming van de blijvende behoefte aan "moleculen" voor brandstoffen en chemische producten en materialen. In het deelprogramma ligt daarvoor de nadruk op schaalvergroting door middel van het uitrollen van demonstratieschaal elektrolyse faciliteiten. Daarnaast wordt er gekeken naar ontwikkeling van essentiële componenten om productiviteit van elektrolyzers te verhogen.

*Note - Dit deelprogramma is opgesteld in afstemming met het Meerjarig Innovatieprogramma Waterstof en bevat de benodigde innovatie activiteiten die in samenwerking met de industrie plaatsvinden voor ontwikkeling, opschaling en uitrol van grootschalige elektrolyse ten behoeve van de productie van waterstof uit duurzaam opgewekte elektriciteit.*

#### *Elektrificatie van de productie van brandstoffen en basischemicaliën*

Elektrochemische conversie is een veelbelovende route naar potentieel klimaat neutrale basischemicaliën en (transport)brandstoffen. Binnen dit deelprogramma vindt onderzoek en ontwikkeling plaats naar productieprocessen voor synthetische brandstoffen (power-to-fuels of electrofuels) ten behoeve van vervoer waar elektriciteit of waterstof geen alternatief biedt. Belangrijke doelen daarbij zijn ontwikkeling van geschikte technologische routes die potentie hebben om opgeschaald te worden en waarbij verlaging van de kosten van productie en verhoging van energetische rendementen een belangrijke bijdrage aan de marktpositie van de producten kan geven.

#### *Alternatieve processen voor duurzame(re) productie van waterstof en syngas*

Naast deze twee hoofdroutes wordt er binnen deze programmalijn ook gekeken naar een aantal belangrijke alternatieve routes die kunnen helpen om bestaande restgasstromen te decarboniseren.

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.

2. *Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen.*  
<<Voor balans in het programma is deze programmalijn komen te vervallen en volledig opgenomen in de andere vier lijnen. >>
3. *Flexibilisering en digitalisering.*  
Door toename van duurzame elektriciteit zal er flexibiliteit in de energiemarkt en in operatie van de industrie moeten ontstaan. Digitalisering is een enabler. 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.  
Dit programma brengt flexibele operatie, ontwikkeling van het energiesysteem met toenemende duurzame energiebronnen en digitalisatie samen en bestaat uit vier deelonderwerpen:

#### *Innovatie opgave voor flexibele operatie van de industrie*

Flexibele operatie van de industrie bestaat uit sturen op eigen processen en gebruik maken van verschillende energiebronnen. Hiervoor is een deel nieuwe technologie nodig (bijv. DC technologie) en hiervoor zullen opslag en import van duurzame energiedragers een rol gaan spelen in de energiemix die de industrie kan gebruiken.

#### *Digitalisering in design en operatie*

Om in operatie flexibel te kunnen handelen is ondersteuning met digitale middelen een vereiste. Van processturing tot besluitvorming bij handelen op de energiemarkt speelt digitalisering een belangrijke rol.

#### *Integratie en koppeling ketens en markten*

Voor koppeling van ketens en markten is uitwisseling van informatie tussen ketenpartners essentieel. Standaardisatie over implementatie van digitale systemen die dit faciliteren is daarvoor een randvoorwaarde.

#### *HCA aspecten van flexibiliteit en digitalisatie*

Personeel met de juiste achtergrond, kennis en vaardigheden vormt een cruciale factor om succesvol te zijn op het kruispunt van procestechnologische kennis, operationele flexibiliteit en digitalisatie.

#### 4. *Radicaal vernieuwde processen.*

Productieprocessen kunnen efficiënter worden gemaakt via incrementele stappen, maar voor volledige CO<sub>2</sub>-emissiereductie zijn vaak radicaal vernieuwde of nieuwe productieprocessen nodig, die intrinsiek energie- en/of grondstof-efficiënter zijn en safe-by-design. Voorbeelden zijn alternatieve routes voor ijzer maken, en naar olefines, solar fuels, watervrij papier maken of plasma-gebaseerde waterstofproductie. Daarnaast is het van belang om een innovatief ecosysteem te koesteren waar ruimte wordt gecreëerd om te experimenteren met nieuwe ideeën op het grensgebied tussen verschillende disciplines zodat er voortdurend mogelijkheden worden gecreëerd om nieuwe processen en concepten te ontwikkelen.

#### 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.

## 3.4 Samenhang van de deelprogramma's binnen het MMIP

### 3.4.1 Verdeling doelen over deelprogramma's

De deelprogramma's in de MMIP zijn vormgegeven rond de drie thema's:

- Elektrische routes naar waterstof en andere brandstoffen, onder andere via elektrochemie.
- Flexibilisering en digitalisering van industriële processen om optimaal en energie efficiënt in te spelen op beschikbaarheid van flexibele elektriciteitsproductie en elektriciteitsvraag te reduceren.
- Elektrificatie van industriële processen met relatief veel CO<sub>2</sub> emissies door (radicale) procesvernieuwingen

De thema's komen 1-op-1 terug in de drie deelprogramma's.

MMIP 8 levert naar schatting een CO<sub>2</sub>-emissiereductie op van 5-10 Mton per jaar in 2030 en 20-30 Mton in 2050. De meeste innovaties hebben een groot potentieel dat met name in de periode tussen 2030 en 2050 kan worden benut. De potentie onderverdeeld naar deelprogramma's:

- 8.1 Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen – 1-3 Mton in 2030 en 10-20 Mton in 2050
- 8.2 Opgenomen in andere deelprogramma's
- 8.3 Flexibilisering en digitalisering – 2-3 Mton in 2030
- 8.4 (Radicale) procesvernieuwing – 1-2 Mton in 2030 en bij volledige implementatie van Hisarna en elektrificatie van hoge temperatuur warmte boven de 20 Mton in 2050
- 8.5. Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie – enabling programmalijn

### 3.4.2 Crossovers en synergiën tussen deelprogramma's

Hoewel de deelprogramma's relatief los van elkaar staan qua inhoud en innovatiebehoefte hebben zij alle de kritieke succesfactor van voldoende beschikbare en voldoende duurzame elektriciteit. Een andere gemene deler zit in aspecten rondom maatschappelijk verantwoord innoveren en de human capital agenda. Deze gemeenschappelijke aspecten opgenomen in het laatste deelprogramma. De verschillende innovatieopgaven leveren alle essentiële technieken en inzichten die bij elkaar zullen moeten komen bij de uiteindelijke implementatie in de industrie.

## 3.5 Stand van zaken/overzicht

### 3.5.1 Overzicht belangrijkste technologieën en TRL

De belangrijkste technologieën staan beschreven in de inleiding per deelprogramma vanaf hoofdstuk 4.

### 3.5.2 Kennispositie Nederland vs. Internationaal

De Nederlandse 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. Er is ook ruime industriële ervaring met productie van waterstof in de raffinage en bulk chemie voor ammoniak synthese en methanol synthese (OCI en Yara, bioMCN) en TechnipFMC Zoetermeer is een toonaangevende leverancier van steamreformers, krakers etc. Elektrochemie wordt al lang bedreven door Nourion (Voorheen Akzo Industrial Chemicals) waarbij naast Chloor ook waterstof geproduceerd wordt. Verder is er eind jaren 90 begin 2000 brede aandacht voor brandstofcellen en kennisopbouw bij bedrijven die voortkwamen uit AkzoNobel zoals Nedstack, en bijvoorbeeld bij ECN. De kennispositie van ECN uit die periode is in de tussentijd grotendeels ook weer verlaten en zelfs verkocht, maar wordt nu weer opgebouwd voor 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. Onder andere Nouryon, Aldel Nyrstar en SiC zijn bedrijven die grootschalig elektrisch gedreven zijn. In de ECCM samenwerking is een onderzoeksagenda ontwikkeld die langzaam steeds verder vorm begint te krijgen en momenteel rond 20 mm€ aan investeringen bevat, Avantium zet stappen op elektrochemie, professor Marc Koper in Leiden is een vooraanstaand electrochemicus en Differ, NWO en andere instituten zetten in op elektrochemie.

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.

Daarnaast heeft Nederland internationaal toonaangevende academische kennis bij verschillende Nederlandse Universiteiten met goede binding met industriële partijen en kennisinstituten. Slaagkans van innovaties kan worden vergroot door aansluiting te zoeken bij de diverse lopende R&D initiatieven op internationaal en Europees verband, waaronder samenwerking tussen in de Trilaterale regio Limburg, de North Sea Wind Power Hub, Vlaanderen en Noordrijn-Westfalen, Kanaalzone Terneuzen en Vlaanderen en Noord-Nederland en Noord-Duitsland.

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 elektrolyzers.

### **Samenhang met (bestaande) nationale en internationale agenda's**

Groene waterstof en elektrosynthese worden als enabling technologie genoemd in de nationale Routekaart Waterstof en het adviesrapport ECCM. Ook internationaal wordt dit zo gezien door o.a. Dechema en World Energy Council. Voor borging van samenhang in het missie-gedreven innovatie programma wordt rond het thema waterstof het Meerjarig Innovatieprogramma Waterstof geborgd. Dit programma geeft de verschillende innovatie opgaven mbt de ontwikkeling van de waterstof economie weer in relatie tot de MMIPs en borgt de integrale samenhang.

MMIP 8 kan voortbouwen op bestaande samenwerkingsverbanden: ISPT (Hydrohub Innovation Program en systeem integratie) Voltachem (initiatief TNO en ECN, ondersteund door TS Chemie en Energie), ECCM (Initiatief TS HTSM, Chemie en Energie), diverse Fieldlabs en pilotinfrastructuur, en het e-Refinery programma van de TUDelft. 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, o.a. Power-to-X en SynEnergie. In het kader van de trilaterale samenwerking tussen Nederland, Vlaanderen en Nordrhein Westfalen wordt samenwerking op elektrochemie en elektrische kraakprocessen verkend. In de Europese innovatieprogramma's zijn met name de Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU) en de PPP SPIRE van belang, evenals EERA-AMPEA (Advanced Materials and Processes for Energy Applications) en EERA rond elektrochemische energieopslag met Nederlandse inbreng.

### **Strategie internationaal**

De innovatieopgave is groter dan Nederland alleen kan behappen. Ook in de landen om ons heen en de rest van de wereld moeten de emissies van broeikasgassen verdwijnen. Het ligt voor de hand dat Nederland:

- Focust op innovatieopgaven die niet alleen relevant zijn voor Nederland, maar waarvoor Nederland ook relatief goed gepositioneerd is en dus ook concurrentievoordeel en export kan behalen;
- Onderkent waar de positie van Nederland mede beïnvloed wordt door, of afhankelijk wordt van, innovatieopgaven van (buur)landen;
- Samenwerkt met andere landen en overheden om schaalgrootte te bereiken

De Nederlandse industrie kenmerkt 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.

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) is het technologie-aanbod voldoende georganiseerd, maar zijn de gebruikers nog niet altijd voldoende aangesloten.

### **3.5.3 Make-buy keuze**

De kennispositie van potentiële innovatiepartners en de wijze waarop bedrijven zich positioneren in Nederland bepalen of innovaties in Nederland zullen worden ontwikkeld (*make*), dan wel in het buitenland (*buy*). Per deelprogramma beschrijven wij op welke elementen Nederlandse industrie op dit moment een internationaal toonaangevende rol heeft en op welke (nog) niet of minder. Een sterke positionering maakt het waarschijnlijker dat er voor *make* wordt gekozen, terwijl bij een zwakkere positionering *buy* meer voor de hand ligt. Voor deelprogramma 2 en 5 is dit onderdeel niet relevant en daarom niet beschreven.

#### **Deelprogramma 1: Productie waterstof, moleculen, en innovatieve hernieuwbare brandstoffen**

Wereldwijd zijn er al honderden elektrolyse systemen van rond de 1 MW of minder, waarmee waterstof wordt geproduceerd. Innovatie van de volwassen alkaline electrolyse technologie richt zich met name op opschaling naar tientallen en honderden MW. Deze innovatie vraagt niet alleen technische ontwikkeling, maar ook ontwikkeling op samenwerking en integratie met bedrijfs- en ketenprocessen, zoals elektriciteits- en gasinfrastructuur, warmteintegratie en flexibiliteit. Dit is daarmee bij uitstek een innovatie die een link heeft met regionale ontwikkelingen. Wereldwijd zijn er vele opschaling- en demonstratieprojecten nodig om dit gehele ecosysteem te ontwikkelen, waarmee ook in Nederland. De verwevenheid van de Nederlandse industrie in de verschillende industriële clusters en de potentiële integratie met hernieuwbare elektriciteitsproductie maakt de opschaling van elektrolyse in Nederland kansrijk in internationaal perspectief.

Naast de volwassen alkaline technologie, gaat er ook innovatie aandacht naar electrolyse technieken die gebruik maken van andere materialen, zoals PEM en solid oxide. Deze innovaties sluiten aan bij een wereldwijde inzet om electrolysers meer kosteneffectief te fabriceren met diverse innovatieprogramma's, onder andere door de Amerikaanse Department of Energy. Deze innovatie wordt mede gedreven door de bestaande elektrolyse maakindustrie bij bedrijven als NEL Hydrogen, Siemens, Toshiba en ThyssenKrupp buiten Nederland. Wereldwijde hotspots voor deze innovaties zijn Duitsland en Noorwegen, China, Japan en Noord-Amerika.

Hoewel er veel internationale marktpartijen bezig zijn met kostenreductie en opschalen van electrolysers is er ook wereldwijd fundamenteel onderzoek gaande naar de wijze waarop deze kostenreductie kan worden gerealiseerd. Dit leidt onder andere tot een interesse in nieuwe en verbeterde technische componenten en materialen voor de opschaling en doorontwikkeling van electrolysers. Kansen voor Nederlandse bedrijven zit mogelijk in de toelevering van specifieke onderdelen voor de electrolysers, zoals membraantechnologie, materialen voor langere elektrolyser levensduur en katalysatoren. Op dit moment is deze markt van toelevering voor elektrolyse componenten internationaal nog sterk in ontwikkeling met diverse R&D activiteiten, waaronder ook bij start-ups in Nederland. Mogelijk vindt verticale integratie plaats met internationale spelers bij succesvolle technische doorbraken op componentniveau.

#### **Deelprogramma 3: Flexibiliteit en digitalisering**



Verskillende ontwikkelingen naar DC systemen zijn wereldwijd gaande, onder andere in China. Historisch gezien worden DC systemen met name toegepast in tractie voor onder andere treinen en trams. Het ligt voor de hand dat partijen die al een track record hebben binnen tractie toepassingen een voorsprong zullen hebben op nieuwkomers. Onder deze partijen zijn diverse internationale partijen die ook in Nederland zijn vertegenwoordigd en bedrijven die ervaring hebben met engineering van dergelijke systemen.

Wereldwijd is er nog geen markt voor op elektriciteit gebaseerde fuels (e-fuels) en zijn ontwikkelingen beperkt tot kleinschalige initiatieven en R&D. Er zijn wereldwijd diverse initiatieven gaande rondom de productie van waterstof, direct air capture en de productie van fuels uit biomassa. Al deze initiatieven zorgen voor een versnelling in de ontwikkeling van e-fuels. Omdat de markt nog volop in ontwikkeling is, is het nog niet mogelijk de kansen voor Nederlandse bedrijven in te schatten. Wel is te verwachten dat beschikbaarheid van goedkope elektriciteit een belangrijke enabler gaat zijn voor opschaling van e-fuel productie. Australië heeft concrete plannen over waterstof productie en vervoer naar Japan en is mogelijke first-mover voor elektrische fuel productie. Ook andere gebieden met lage kosten voor hernieuwbare elektriciteit en al bestaande brandstof-infrastructuur zijn potentiële hotspots, zoals Noord-Afrika en het Midden-Oosten. Nederland kan internationaal een rol spelen door synergie te zoeken met de bestaande brandstofinfrastructuur.

Voor flexibele operatie geldt dat er zowel aan de slimme inzet van opslagcapaciteit (van energie zowel als van producten) als aan de kant van het ontwerp van robuuste elektrisch gedreven dynamische processen nog veel te ontwikkelen valt. Op dit moment worden processen bijvoorbeeld niet ontworpen om snel te starten en te stoppen, verder moet beseft worden dat het procesgedeelte tot aan en inclusief de buffercapaciteit het aangeboden elektriciteitsprofiel volgt. In het algemeen kan worden gesteld dat procesoperatie, -ontwerp en -regeling aan hogere specificaties moeten gaan voldoen terwijl hun onderlinge afhankelijkheid sterk toeneemt. Met een bovengemiddeld sterke engineering sector met zowel wereldklasse EPC ingenieursburo's als met kleine specialistische en innovatieve MKB ingenieursburo's kan de Nederlandse technologische dienstverleningssector op dit vlak een wereldwijd een sterke positie verwerven. Daarnaast heeft Nederland ook sterke logistieke partijen en een sterke overslag sector. Verdergaande flexibilisering en electrificatie biedt deze partijen een kans hun domein te verbreden naar energie opslag in meer dan alleen brandstoffen en chemicaliën, bijvoorbeeld door opschaling van flow batterijen, of door een rol te spelen in inzet van LOHCs en andere hernieuwbare hoge-dichtheid energiedragers voor de bevoorrading van lokale mobiliteitsinfrastructuur.

#### **Deelprogramma 4: Radicale procesvernieuwingen**

Zoals hiervoor beschreven zijn de belangrijkste bronnen van broeikasgas in de industrie achtereenvolgens hoge temperatuurverwarming in de raffinage en chemie, staalproductie, en productie van waterstof als grondstof. Die stellen we in die volgorde aan de orde, gevolgd door een aantal aanvullende mogelijkheden zoals waterloze papierproductie

Hoge-temperatuurverwarming, anders dan door directe aanvuring, is zowel in Nederland als daarbuiten relatief weinig ontwikkeld. Er zijn wel een aantal plasmatoepassingen die in het buitenland in ontwikkeling zijn, o.a. voor methaan decarbonisatie en afvalpyrolyse, in die gevallen zijn toch nog wezenlijke opschaalstappen te zetten die in Nederland zouden kunnen plaatsvinden. Vanwege de wijdverbreide toepassing van hoge-temperatuur verwarming biedt dat ook uitstekende kansen op een commercieel aantrekkelijke toepassing. Het kan wel nodig zijn om internationale samenwerking aan te gaan, bijvoorbeeld op het gebied van apparatenbouw.

Internationaal zijn er een aantal grote spelers voor wie decarbonisatie van fornuizen voor de productie van olefines en aromaten via electrificatie relevant is. In Nederland zijn een aantal van deze spelers actief en lopen ook samenwerkingsverbanden met industrie over de grens in Duitsland en België. Vanwege de aandacht die er is voor verduurzaming van de chemische industrie in Europa ligt het voor de hand dat demonstratie projecten voor elektrische fornuizen in Europa gaan worden gerealiseerd. Dit kan zowel gebeuren binnen een samenwerkingsverband met verschillende chemiebedrijven of door bedrijven individueel. Om elektrisch kraken mogelijk te maken zijn diverse materiaal innovaties nodig, met name om de grote temperaturen en elektrische stromen te kunnen

weerstaan. Er zijn diverse Nederlandse kennisinstituten en R&D verbanden die hier internationaal toonaangevende kennis op ontwikkelen.

Hisarna is een specifiek proces voor reductie van broeikasgasemissie uit staalproductie, ontwikkeld door Tata. In Nederland is in het verleden al een proefopstelling ontwikkeld om de technologie verder te brengen. Tata heeft aangekondigd de volgende opschalingsstap in India te laten plaatsvinden, dat kan de ontwikkeling in Nederland beïnvloeden.

IJzerproductie via een electric arc furnace (EAF) wordt wereldwijd al op veel verschillende plekken toegepast en ontwikkeld, op diverse schaalgroottes. Voor dit circulaire proces, waarvoor schroot als grondstof dient, lijkt geen grote ontwikkeltaak voor Nederland weggelegd. Op dit moment is er geen enkele site met ijzerproductie via EAF en verwacht wordt dat verdere ontwikkeling en implementatie met name plaats zal vinden in Zuid-Oost Azië, met name China, en in Noord-Amerika. Dat geldt ook voor een aantal alternatieve ertsverwerkingstechnieken, zoals directe reductie met waterstof, waar met name in Zweden al jaren aan wordt gewerkt. Succesvolle ontwikkeling en toepassing van een electric arc furnace hangt samen met het organiseren van processen voor het effectief sorteren van schroot. Ook hiernaar wordt internationaal, mede in Europees verband, onderzoek naar gedaan en worden nieuwe methodes ontwikkeld. Vanwege de brede internationale aandacht lijkt de kans van slagen van deze innovatie buiten Nederland zeer groot.

Wereldwijd zijn er diverse partijen die technologie ontwikkelen en leveren voor watervrij papierfabricage, onder andere in Noord-Amerika, Duitsland, Denemarken en diverse Aziatische landen. Voor implementatie van de technologie in Nederland zal de innovatie aandacht zich met name richten op innovatie in de productvorming en introductie van nieuwe toepassingen. De slagingskans van deze productinnovaties in Nederland lijkt hoog, gezien de groeiende aandacht voor biobased materials en duurzame verpakkingsmaterialen en de sterk aanwezige en georganiseerde Nederlandse papierindustrie.

## 3.6 Communicatie, leren en disseminatie

### 3.6.1 Communicatie

Communicatie van de radicale innovaties die plaats moeten vinden in de industrie om de benodigde structurele ombuiging in CO<sub>2</sub>-equivalente emissies naar nihil te realiseren, dient plaats te vinden op verschillende niveaus, transparant en interactief. De IKIA voorziet in de ontwikkeling en deels een voortzetting van consortia waarin actieve participatie plaatsvindt van overheid, bedrijven (van kleine startups tot grote bedrijven), kennisinstellingen en NGO's (platina vierkant). Aan een kant wordt communicatie van voortgang in de programma's en projecten (consortia) van deze industrieel georiënteerde MMIP geborgd door de opgezette governance structuur waarin ze is ingebed. Verder wordt ook voorzien in verspreiding van de opgedane kennis via de deelsectoren, netwerken en overige samenwerkingsverbanden (als voorbeeld kan dienen de papierindustrie via de VNP – nationaal- en binnen de EU dan weer via CEPI). Informatie met betrekking tot bijvoorbeeld veiligheid zal industrie breed worden gedeeld. Kennisontwikkeling gaat voorts gepaard met communicatie hiervan via rapporten, proefschriften, artikelen en presentaties in het domein van de wetenschap. De bovengenoemde communicatie binnen de consortia en wetenschappelijke gremia leidt niet automatisch tot betrokkenheid van de burger; daarvoor is het ook nodig dat rond de op de industrie-sector opgezette MMIP's actieve informatie uitwisseling wordt gestimuleerd. Dit kan via de diverse beschikbare (sociale) media in allerlei vormen, maar dat is niet voldoende. Interactieve informatiesessies, workshops, symposia en roadshows in diverse regio's op divers gekozen locaties (met inbegrip van het tonen van de praktijk) kunnen een en ander faciliteren met zeer nadrukkelijk ruimte voor tweerichtingsverkeer daarin om de ontwikkelingen in technologie, implementatie en duurzame operatie te verduidelijken en om draagvlak richting actieve steun van de bevolking te realiseren alsmede het cruciale mobiliseren van het arbeidspotentieel.

### 3.6.2 Leren

Leren is onlosmakelijk verbonden met de nationale HCA voor opbouw, ondersteuning en duurzame instandhouding van de kennis en kunde die ontwikkeld wordt voor de nieuwe industrie die in toenemende mate geëlektrificeerd wordt met daaraan gekoppeld de integratie van radicaal vernieuwende processen. Leren in (radicaal) veranderende industriële omgevingen vraagt om betrokkenheid van alle actoren door de hele onderwijskolom heen die in nauwe verbondenheid met elkaar staan. Er zijn in ons land al voorbeelden van zulke 'Learning Communities' waarbij HBO en MBO met het bedrijfsleven op de werk-leervloer aan nieuwe technologie ontwikkeling en implementatie werken. Wat grotendeels echter nog ontbreekt is de actieve participatie van WO en TO kennisinstellingen daarin; als het om ingrijpende omslagen in procesontwikkeling gaat, is deze component onontbeerlijk en zou in het nieuwe systeem inbegrepen dienen te worden. In de programma's en de daaraan gekoppelde projecten onder MMIP8 is dit opgenomen. Partiële heroriëntering van de inrichting van stages en afstudeerprojecten is hiervoor nodig, en aansluiting/uitbouw van bestaande 'Learning Communities', gebruikmakend van Field of Living Labs. Er zal moeten worden geïnvesteerd in deze centra en de overgang en implementatie van hier ontwikkelde technologie in de industrie; dit vergt forse investeringen in infrastructuur en bemensing, waaronder ruimschoots beschikbare stageplekken in de nieuwe omgevingen. Het domein van elektrificatie en radicaal vernieuwde processen heeft ook ontwikkeling van lesprogramma's en herstructurering van curricula nodig in diverse disciplines nodig door de hele leerkolom (zelfs inclusief het middelbaar onderwijs); gebieden als elektrochemie, 'electrochemical engineering' en procesdynamica en –regeling waren tot kort geleden praktisch uit het aandachtsveld van onderwijs verdwenen en dienen nu binnen relatief korte termijn weer te worden gestimuleerd door alle lagen van de leerkolom heen, waarbij naast aandacht voor verdere ontwikkeling (ook in het licht van de voortschrijdende digitalisering) ook volume creatie in de opleiding van technici en technologen moet worden gegenereerd, die tevens aandacht dienen te hebben voor socio-economische impact van de nieuwe ontwikkelingen.

### 3.6.3 Disseminatie

Het is in het algemeen maatschappelijk belang dat de nieuw ontwikkelde innovatieve technologie zo breed mogelijk wordt toegepast in onze samenleving en grensoverschrijdend, zonder dat daarbij voorbij moet worden gegaan aan de belangen van investerende partijen in ons land. Zeker bij pilot- en demonstratieprojecten waar de Nederlandse overheid aan bijdraagt dient dit te worden gewaarborgd middels licentieafspraken (in combinatie met adequate bescherming van Intellectuele Eigendom). Leveranciers van nieuwe technologie zullen deze graag verder uit willen rollen. Sterke en brede consortia ondersteunen dit proces en zijn daarom bij uitstek nastrevenswaardig, vooropgesteld dat ook paden zijn gedefinieerd waarlangs excellente technologie buiten de consortia verwaard kunnen worden (met name ook buiten Europa).

Bij activiteiten in het R&D-domein, inclusief de resultaten vanuit het op te bouwen ecosysteem moeten de gebruikelijke mechanismen worden ingezet van publicatie en conferentiebijdragen, met speciale aandacht voor de valorisatiecomponent, waarvoor actieve aandacht essentieel is, daarbij aandacht houdend om revolvering van ingezette middelen mogelijk te maken. Het gaat hier om projecten waarvoor grensoverschrijdende industriële partnerships essentieel zijn. De betreffende industrietakken hebben doorgaans een beperkt aantal spelers. Een voldoende breed consortium waarborgt de disseminatie in ofwel vervolprojecten ofwel implementatie en operatie van nieuwe technologie.

## 4 Deelprogramma 1: Productie waterstof, moleculen, en innovatieve hernieuwbare brandstoffen

### 4.1 Programmatische aanpak

Binnen deelprogramma 'Productie waterstof, moleculen innovatieve hernieuwbare brandstoffen' zijn vier programmalijnen te onderscheiden. Dit zijn:

- a. Water-elektrolyse voor de elektrificatie van de huidige productie van industriële waterstof
- b. Elektrificatie van de productie van brandstoffen en basischemicaliën
- c. Alternatieve processen voor duurzame(re) productie van waterstof en syngas
- d. Nieuwe energiedragers, inclusief waterstofdragers

#### **Water-elektrolyse voor de elektrificatie van industriële waterstof**

Deze programmalijn is van groot belang omdat elektrolyse van water ( $H_2O$ ), ofwel de splitsing van water in waterstof ( $H_2$ ) en zuurstof ( $O_2$ ) met behulp van elektriciteit, een sleuteltechnologie is voor een duurzame energievoorziening. Het biedt een mechanisme om wind- en zonne-energie in hoge mate gecontroleerd in te passen in het elektriciteitssysteem, en om energie van deze bronnen vast te leggen in de vorm van moleculen die in grote hoeveelheden kunnen worden opgeslagen, eenvoudig zijn te transporteren, en breed inzetbaar zijn, niet alleen energetisch als energiedrager, maar ook non-energetisch als basiselement voor de (petro)chemische industrie. Water-elektrolyse is voor grootschalige industriële en energetische toepassingen echter nog te duur om te kunnen concurreren met waterstof geproduceerd op basis van aardgas en de energiedragers waar het een vervanging voor kan zijn, zoals aardgas. De kosten moeten dus omlaag.

Vanwege de systeemfunctie die waterstof kan vervullen in een duurzame energievoorziening is een belangrijke vraag op welke schaal conversie naar, of productie van waterstof het beste kan plaatsvinden. Is dit de schaal van een individuele fabriek, of kan het beter op het niveau van industriecluster of zelfs een combinatie van clusters. Dit zijn vragen die typisch aan de orde komen in MMIP13. Voor ontwikkeling van de technologie maakt het uiteindelijk niet veel uit. Die moet sowieso worden geoptimaliseerd en worden opgeschaald naar installaties variërend in capaciteit van MW tot GW schaal.

De innovatieopgave binnen deze programmalijn betreft het kunnen produceren van hernieuwbare waterstof door middel van waterelektrolyse die in 2030 kan gaan concurreren met waterstof geproduceerd op basis van aardgas. Daartoe zal binnen deze programmalijn aandacht worden besteed aan de volgende programma-onderdelen:

- Regionale uitrol klimaatneutrale waterstof op 10-100+ MW-schaal in industrieclusters, met:
  - Pilot(s) van elektrolyse op MW-schaal, o.a. voor aantonen van gedrag
  - Integratie en flexibilisering water-elektrolyse in het energiesysteem
  - Eerste ontwerp van een GW-elektrolyse fabriek
- Nieuwe katalysatoren en membraanmaterialen voor stabielere, actievere en efficiëntere elektrodes en reactoren met verhoogde levensduur en rendement
- Kosteneffectieve fabricagetechnologie (van componenten voor) elektrolyzers

De volgende tabel laat zien welke aantallen projecten grofweg nodig zijn om de ambitie van 3-4 GW electrolyser capaciteit in 2030 te realiseren.

MW vermogen per project	Aantal tot 2030	Totaal vermogen
20	5	100
100	4	400
250	2	500
500	2	1000
1000	2	2000
		4000

Er zijn verschillende varianten water-elektrolyse processen. Focus binnen deze programmalijn ligt bij alkalische elektrolyse (AEL), anion exchange membrane (AEM) elektrolyse, en proton exchange membrane (PEM) elektrolyse.

Binnen de programmalijn wordt enerzijds gewerkt aan realisatie van installaties op basis van bestaande AEL en PEM technologie (TRL7-9) bij diverse industriële processen (o.a. ammoniak, olie-/bioraffinage, methanol) waarbij de schaal geleidelijk toeneemt van enkele megawatt, via enkele tientallen megawatt, naar 100 MW en meer. Doel hiervan is in eerste instantie om ervaring op te doen en duurgedrag van de technologie aan te tonen. Dit leidt tot een steeds beter inzicht in de techno-economische mogelijkheden voor optimalisatie van de technologie en de bedrijfsvoering van elektrolysers in samenhang met de energievoorziening die in toenemende mate zal zijn gebaseerd op aanbod vanuit variabele bronnen. Deze inzichten kunnen in de opeenvolgende projecten worden geïmplementeerd om daarmee de uitrol zo kosteneffectief mogelijk te laten plaatsvinden. Optimalisatie en opschaling van zowel aantallen (elektrolysers zijn modulair opgebouwd) als van capaciteit van installaties leidt tot daling van investeringskosten en variabele kosten.

Anderzijds zal er binnen deze programmalijn worden gewerkt aan meer fundamentele verbetering van de technologie vanuit een laag TRL-niveau door onderzoek naar en ontwikkeling van componenten zoals membranen, katalysatoren en elektroden die bij voorkeur niet alleen veel beter zijn maar ook goedkoper. Deze R&D activiteiten omvat ook werk aan AEM-technologie die zich nog op TRL5/6 bevindt, en waarvoor binnen deze programmalijn wordt toegewerkt naar een prototype-installatie op MW-schaal. Verbetering van componenten moet leiden tot verhoging van het rendement van de productie van waterstof, waardoor het elektriciteitsverbruik per eenheid geproduceerde waterstof daalt en dus de elektriciteitskosten voor productie lager worden. Verder moet verbetering van deze componenten leiden tot verlenging van de levensduur van een stack waardoor minder vervanging gedurende de levensduur van een elektrolyse-fabriek nodig is en dus de investeringskosten over de levensduur van de installatie omlaag gaan.

Kostenverlaging van elektrolysers komt enerzijds uit verhoging van productiviteit en efficiency, maar anderzijds uit een geoptimaliseerde keten van productie tot installatie van elektrolysers in grootschalige fabrieken. Voor grootschalige uitrol van elektrolyse zal de productie capaciteit van de toeleverende keten zich moeten ontwikkelen. De professionalisering van de keten voor PV en (offshore) wind energie heeft zich opgeschaald en ontwikkeld toen duidelijk werd dat er lange termijn investeringsgaranties waren en het loonde om te investeren. Voor elektrolyse staat dit proces nog in de kinderschoenen. Nederland heeft een sterke Nederlandse hightech maaksector die gespecialiseerd is in ontwikkeling van efficiënte technologische productieketens.

Daarnaast is er in Nederland veel expertise op gebied van katalyse en elektrochemie en ruime industriële ervaring met grootschalige handling en operatie van waterstof. Daarmee ligt er een goede kans voor deze sector om een rol in de toekomstige technologieketen van water elektrolyse te spelen.

Daarom wordt er in samenhang met de opschaling en ontwikkeling van verbeterde technologie in een vroeg stadium beoogd aandacht te besteden aan de produceerbaarheid van componenten en systemen op industriële schaal met als doel om ook high-tech industrie op het gebied van elektrolyse in Nederland te kunnen realiseren. Hier liggen mogelijkheden voor productie van bijvoorbeeld membranen en samengestelde producten (membraan met elektrodes, MEA), maar ook voor ontwikkeling van productielijnen voor deze componenten en producten en voor assemblage van stacks en systemen. Daarnaast is kennis van ontwerp en opschaling van de uitrol van elektrolyse systemen naar GW+ schaal een belangrijke ingrediënt om een efficiënte uitrol bij installatie te borgen. Met een sterke engineering en EPC sector in Nederland verkeren we ook voor professionalisering van dit domein in een goede uitgangspositie.

Naast kostenverlaging van de technologie zal er in pilots en demo's ook aandacht worden besteed aan optimale inpassing met maximale "verwaarding" van bijproducten van water-elektrolyse zoals regelbaar vermogen voor het leveren van netwerkdiensten, de zuurstof, die samen met de waterstof wordt geproduceerd, en de restwarmte die bij het proces vrijkomt (60-70 °C)

Tabel 2 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.1.a 'Water-elektrolyse voor elektrificatie van de huidige industriële waterstofproductie'

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
8.1a1: Regionale implementatie en uitrol van klimaat-neutrale waterstof op een schaal van 10-500 MW in industrieclusters	2030: Opschaling van water-elektrolyse incl. mogelijke dynamische inpassing (flexibilisering) om netwerk-diensten te kunnen leveren (onbalansmarkt) voor extra inkomsten die de business case kunnen verbeteren. Totale elektrolyse capaciteit 3-4 GW (Waterstofcoalitie)	Operatie pilots < MW door kennis en industrieconsortium (Faraday-lab, Hydrohub MW-testcentrum, Hystock); Bouw van 10-20 MW fabrieken (o.a. Nouryon en Gasunie) en ontwerp van fabrieken van >20 MW voor diverse toepassingen en op diverse locaties (industriepartners) en conceptueel ontwerp GW-schaal elektrolyse fabriek (ISPT-verband)	2020-2026				↔	↔ <1 MW		1. SCA 2. SKT 3. SOP
		Operatie van 10-20 MW fabrieken; bouw van 20-100 MW fabrieken en ontwerp van fabrieken van > 100 MW in industrieconsortia		2022-2023				↔ <20 MW		
		Operatie van 20-100 MW fabrieken; bouw van 100-500 MW fabrieken en ontwerp van fabrieken van > 500 MW in industrieconsortia			2024-2025			↔ <10 0 MW		
8.1a2: Nieuwe membranen, elektrode-materialen en "membrane-electrode assemblies"	2030: Alkaline/AEM: stabiele membranen en electrode-materialen gebaseerd op niet edele metalen voor operatie tot 1 A/cm2 met ohmse weerstand van <0.2 Ohm/cm2,	Ontwikkeling kosteneffectieve polymere membranen die stabiel genoeg zijn voor operatie in industriële PEMs en AEMs	2020-2023			↔				SKF
		Ontwikkeling nieuwe elektrodematerialen & onderzoek aan	2020-2023			↔				SKF

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
	en een levensduur van meer dan 4 jaar	degradatiemechanismes onder industriële condities								
	PEM: stabiele membranen en electrode-materialen met iridium belading van minder dan 0.2 mg/cm <sup>2</sup> , en een levensduur van meer dan 4 jaar)	Duurtesten van nieuwe membranen, elektroden en membraan-elektrode assemblies (MEA) in pilot units (Faraday lab, Hydrohub MW test center)		2022-2026			↔			SKT
8.1a3: Ontwikkeling en fabricage van electrolyzers en electrolyzer componenten	2030: Een of meerdere toonaangevende Nederlandse partijen in de industriële keten voor elektrolyzers en/of electrolyzercomponenten	In kaart brengen internationaal speelveld, marktbehoefte, potentie NL-spelers en positie op het gebied van membranen, MEA's (membrane-electrode assemblies) en overige componenten, stacks en systemen, inclusief ontwerp en maken van productielijnen voor deze producten. Uitwerken meest kansrijke opties voor industriële activiteiten en consortiumvorming	2020-2022							SKS
		Ontwikkeling van elektrochemische reactoren samen met maakindustrie & startups	2020-2022				↔			SKT
		Ontwikkelen roll-to-roll technologie voor productie van MEAs	2020-2023				↔			SKT



Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		Duurtesten van veelbelovende nieuwe elektrode materialen en elektrochemische reactoren		2022-2023			↔	↔		SKF, SKT, SCA
		Bouw en duurtest van Nederlands elektrolyser prototype/systeem op MW schaal Nederlandse OEM van elektrolysers met > 20 werknemers		2023-2025			↔			SCA SOP SKT
		Definitie, ontwerp en ontwikkeling van pilot-lijnen voor productieprocessen voor polymere membranen of andere electrolyzer-componenten in een industriële context, inclusief flankerende infrastructuur die nodig is voor onderzoek en ontwikkeling (testen en analyse)		2022-2026			↔			SKT
<b>8.1a4: MVI aspecten mbt waterstof</b>	Maatschappelijke inbedding	Dialogo en co-creatie en proactieve communicatie	2020-2026					↔		Social lab, social design, position paper e.a.

Tabel 3 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.1.a 'Water-elektrolyse voor elektrificatie van de huidige industriële waterstofproductie'

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<b>8.1a1 Regionale implementatie en uitrol van klimaat-neutrale waterstof op een schaal van 10-500 MW in industrieclusters</b>	Hoog	Innovatie heeft grote CO <sub>2</sub> emissiereductiepotentie in 2030 van enkele Mt en in 2050 tientallen Mt. Eigenaarschap in de industrie is aanwezig, met een relatief goede organisatiegraad binnen de industriële clusters, aanwezigheid van grote internationale spelers en engineering expertise. Dit zorgt voor sterke positie op integratie en services. Toelevering van componenten zal voornamelijk uit het buitenland komen.
<b>8.1a2: Nieuwe membranen, elektrode-materialen en "membrane-electrode assemblies"</b>	Midden	Deze innovatie is een enabler voor grootschalige en kosteneffectieve productie van waterstof. Opschaling van productiecapaciteit zal tempo van uitrol bepalen. Hoewel er eigenaarschap vanuit de industrie lijkt te zijn voor opschaling, is op dit moment de waardeketen voor toelevering van elektrolyse technologie beperkt aanwezig in Nederland, terwijl deze in zowel Europa als in de rest van de wereld aanwezig is (bv. Thyssen-Krupp, Siemens, NEL, ITM, en partijen in bijvoorbeeld Zuid-Korea en Japan etc.). In Nederland zijn partijen met waterstof expertise en met opschaling in de maaksector en systeembouw voor de procesindustrie, maar deze is rond de elektrolyse keten nog niet georganiseerd en in ontwikkeling.
<b>8.1a3 Kosteneffectieve fabricagetechnologie electrolysers</b>		Hoe de balans tussen inkoop van buiten NL en bouw in NL komt te liggen is onzeker, het lijkt kansrijker om technologie te kopen in het buitenland maar de sector moet nog een volledige transformatie/opschaling ondergaan die kansen biedt aan NL.
<b>8.1a4: MVI aspecten mbt waterstof</b>	Hoog	Grote maatschappelijke aandacht voor waterstof en groene waterstof productie met o.a. de Groene Coalitie en New Energy Council, en regionale aandacht vormt de basis voor regionale ontwikkeling van social labs rond groene waterstof productie.

## Elektrificatie van de productie van brandstoffen en basischemicaliën

De programmalijn werkt aan technologie voor vervanging van aardolie en aardgas door water en kooldioxide als basis voor de productie van basischemicaliën voor de chemische industrie en voor de productie van vloeibare brandstoffen. Deze ontwikkelingen kunnen van enorme betekenis zijn voor de industrie, maar bevinden zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. Binnen deze programmalijn wordt gewerkt aan de volgende onderwerpen:

- Hoge temperatuur elektrolyse en warmte-integratie, inclusief:
  - Kosteneffectieve fabricagetechnologie (van componenten voor) elektrolyzers
- Elektrochemische productie van kleine moleculen, inclusief:
  - Stabiele, selectieve en efficiënte elektrodes en reactoren voor directe elektrochemische omzettingen
  - Opzetten field-lab voor elektrochemie en Power-to-X
  - Integratie en flexibilisering elektrochemische processen in het energiesysteem

Hoge temperatuur elektrolyse, ook wel solid oxide electrolysis (SOE) biedt een aantrekkelijk perspectief voor de gelijktijdige reductie van CO<sub>2</sub> en water tot syngas (mengsel van koolmonoxide en waterstof). In een vervolgstap kan dit worden gebruikt voor de productie van synthetische brandstof in een relatief conventioneel thermochemisch proces (Fisher-Tropsch). Ook is met kooldioxide en waterstof een route mogelijk via methanol (CH<sub>3</sub>OH) naar de productie van olefinen (o.a. etheen; C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) die een belangrijke basis vormen voor de productie van kunststoffen. Deze combinatie van processen bieden uitzicht op volledig duurzame brandstoffen en producten wanneer de CO<sub>2</sub> afkomstig is van biomassa of uit de atmosfeer. De innovatieopgave voor SOE is het bereiken van kostendaling (<500 €/kW) en ontwikkeling robuuste technologie geschikt voor integratie met (hoge temperatuur) processen die H<sub>2</sub>, syngas of CO als grondstof gebruiken. De belangrijkste opgaven zijn doorontwikkeling van celtechnologie, opschaling van productie met kosteneffectieve fabricage-technologie en supply chain ontwikkeling, met demonstratie van de voortgang in een pilot van tenminste 100 kW.

Een nog aantrekkelijker perspectief biedt directe elektrochemische productie van kleine moleculen. Het is al aangetoond dat kooldioxide en water in een elektrochemisch proces met behulp van katalysatoren in een keer kunnen worden omgezet in etheen. Van vergelijkbare orde is elektrificatie van de productie van ammoniak (NH<sub>3</sub>). Wereldwijd is dit proces verantwoordelijk voor de grootste vraag naar industriële waterstof. Gedeeltelijke elektrificatie en decarbonisatie is mogelijk met water-elektrolyse, maar in principe is het ook mogelijk om stikstof en water direct via een elektrochemisch proces naar ammoniak om te zetten. Het effect van deze ontwikkelingen is potentieel zeer groot omdat etheen en ammoniak in Nederland en wereldwijd de grootste hoeveelheid bulkchemicaliën vertegenwoordigen, en dus aan de basis staan van heel veel chemische producten en materialen. Deze ontwikkelingen bevinden zich echter nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. De innovatieopgave voor 2030 om deze processen op pilotschaal te kunnen demonstreren in een Power-to-X fieldlab. Hiervoor is nog veel NWO-gefinancierd fundamenteel onderzoek nodig naar de exacte werking van het processen om gericht actieve, selectieve en stabiele katalysatoren te kunnen ontwikkelen, om betere elektroden en reactoren te kunnen maken, en om reactiecondities te kunnen optimaliseren (link met Europese initiatieven Energy-X en SUNSRISE en nationaal bijvoorbeeld het RELEASE-programma). Naar verwachting duurt het tot ruim na 2030 voordat elektrochemische processen die water en kooldioxide of stikstof direct omzetten naar basischemicaliën een gewenste levensduur hebben van een jaar of vijf, en zijn opgeschaald tot de vereiste schaalgrootte.

Tabel 4 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.1.b 'Elektrificatie van de productie van brandstoffen en basischemicaliën'

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geslacht instrument
<b>8.1b1 Hoge temperatuur elektrolyse met warmte-integratie in productieprocessen voor productie duurzaam syngas o.b.v. CO<sub>2</sub> en water als grondstof voor chemische industrie en synfuels</b>	Pilot met co-elektrolyse systeem voor inzet in relevante industriële toepassingen, met SOE-technologie die uitzicht biedt op systeemkosten van < 500 €/kW, en cel- of stacktechnologie bevat van een Nederlandse fabrikant	Systeemstudies met techno-economische analyse van haalbaarheid naar productieprocessen voor synthetische brandstoffen en de chemische industrie o.b.v. syngas met warmte-integratie van hoge temperatuur elektrolyse bijv. in combinatie met plasmolyse ter verlaging van de werktemperatuur (plasma-activatie).	2020-2022						↔	SKS
		Ontwikkelen stabiele, efficiënte en kosteneffectieve cel-technologie voor afzonderlijke elektrolyse van kooldioxide en water en co-elektrolyse van beide tegelijk.	2020-2024				↔			SKT SKF
		Opschaling van celgrootte met als doel cellen van 30x30 cm, met ontwikkeling en optimalisatie van receptuur met experimentele verificatie van behoud van celprestaties.	2020-2024				↔			SKT SKF

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geslacht instrument
	en industriële waterstof.	Industrialisatie celproductie: Ontwikkelen en testen van fabricage-technologie incl. kostenmodellering en techno-economische analyse met evaluatie op reproduceerbaarheid, kwaliteit, grondstofbehoefte, product-uitval, opschaalbaarheid en kosten.	2020-2026				↔			SKT SKF
		Ontwikkelen, bouwen en opereren van 100 kW-schaal co-elektrolyse pilot in een setting relevant voor industriële toepassingen.		2022-2026			↔			SKT
<b>8.1b2: Productie van belangrijke basis-chemicaliën uit water, kooldioxide en stikstof o.b.v. elektrochemische processen.</b>	Demonstratie MW-schaal van elektrochemische omzettingsprocessen en syntheses of plasmolyse (gebonden stikstof componenten), anders dan water-elektrolyse, voor productie van bijvoorbeeld stikstofoxide,	Ontwikkelen inzicht in potentieel door brede verkenning van elektrochemische processen, inclusief impact analyses (milieu, klimaat, markt etc.), en techno-economische analyse (TEA) van procesontwerpen voor potentiële proces-product combinaties, met selectie van kansrijke opties mede o.b.v. interesse uit de industrie.	2020-2022					↔	SKS	

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschiedt instrument
	ammoniak, koolmonoxide, mierenzuur, olefines (o.a. etheen) en aromaten.	Onderzoek en ontwikkeling van elektrodes (actief, selectief, stabiel, lage kosten, opschaalbaar etc.), reactiemechanismen, reactorconcepten en reactiecondities, in samenwerking met partijen, zoals bijvoorbeeld Avantium en Coval. Update van TEA's o.b.v. resultaten.	2020-2025			↔	↔			SKF
		Pilots voor proof-of-concept op lab-schaal en in een veld-lab, inclusief duurtesten en testen mogelijkheden voor dynamisch bedrijf, en ontwerpen van MW-schaal demo-installaties. Update van TEA's o.b.v. pilot resultaten.		2023-2028			↔			SKT
		Bouw en operatie van MW-schaal demonstratie-installaties (gepland na 2016)			>2027		↔			SCA

Tabel 5 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.1.b 'Elektrificatie van de productie van brandstoffen en basischemicaliën'

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<p><b>8.1b1 Hoge temperatuur elektrolyse met warmte-integratie in productieprocessen voor productie duurzaam syngas o.b.v. CO<sub>2</sub> en water als grondstof voor chemische industrie en synfuels</b></p>	<p>Laag</p>	<p>Het CO<sub>2</sub> emissiereductiepotentieel is in 2030 nihil, maar in 2050 in potentie hoog, vanwege de verdringing van conventionele raffinage en processing van brandstoffen op schaal van GW. Exacte omvang elektrochemische productie hangt af van diverse markt factoren en is op dit moment lastig te kwalificeren. Enkele partijen in Nederland tonen eigenaarschap, maar op dit moment zijn er nog nauwelijks stappen in de waardeketen gerealiseerd vanwege het innovatieve karakter van de technologie en markt.</p>
<p><b>8.1b2 Productie van belangrijke basischemicaliën uit water, kooldioxide en stikstof o.b.v. elektrochemische processen.</b></p>		

### **Alternatieve processen voor duurzame(re) productie van waterstof en syngas**

Naast elektrolyse zijn er diverse andere processen die een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de reductie van industriële CO<sub>2</sub> emissies en de vervanging van aardolie als basis voor de productie van vloeibare brandstoffen (kerosine voor de luchtvaart, en diesel voor de scheepvaart), en voor chemische producten en materialen door duurzame(re) koolstofbronnen en water. Deze programmalijn omvat de voornaamste potentiële alternatieven. Dat zijn:

- Selectieve ontleding van methaan (aardgas) door verhitting (thermolyse) tot waterstof en vaste koolstof. Er zijn diverse uitvoeringsvarianten van dit proces in ontwikkeling. Het biedt de mogelijkheid om in een transitiefase gebruik te blijven maken van aardgas zonder productie van CO<sub>2</sub>, met als bijkomend voordeel dat ook de vaste koolstof een product met waarde vertegenwoordigd voor diverse toepassingen. Bij voorkeur wordt de koolstof ingezet in producten waarin het (voor lange tijd) wordt vastgelegd zodat het in een vervolgstap niet alsnog tot CO<sub>2</sub> emissies leidt.
- Plasmareacties: productie van waterstof en koolmonoxide uit water en kooldioxide, en directe productie van basischemicaliën zoals ammoniak uit water en stikstof in een plasmareactor. Er zijn meerdere opties voor stabilisatie van het plasma (bijv. RF, microgolf).
- Fotokatalytische splitsing van water. Dit is een technologie die enigszins met zon-PV is te vergelijken, maar waarbij het actief oppervlak zich in water bevindt. In plaats van elektriciteit wordt er bij inval van zonlicht op het oppervlak in dit geval echter direct waterstof geproduceerd. De technologie combineert als het ware de functies van zon-PV en elektrolyse. In die zin kan het worden gezien als alternatief voor die beide met als belangrijk verschil dat deze technologie geen rol kan hebben bij het leveren van netwerkdiensten voor ondersteuning van de inpassing van variabel aanbod van elektriciteit op het elektriciteitsnet.

De overkoepelende innovatieopgave van deze onderling zeer verschillende opties is in essentie de (door)ontwikkeling van de technologie tot een niveau en een schaalgrootte waarop het kan concurreren met de heersende benchmarktechnologie. Voor waterstof is dat nu bijvoorbeeld waterstof op basis van aardgas en wordt dat in de naaste toekomst mogelijk aardgas/CCS en elektrolyse. Voor productie van syngas is dit een afgeleid doel dat afhankelijk is van de toepassing van het syngas; inzet voor productie van synthetische brandstoffen zal bijvoorbeeld tot een ander kostendoel leiden dan inzet voor synthese van chemische producten waarvoor mogelijk andere vervolprocessen nodig zijn, en die een andere waarde zullen hebben.

De specifieke innovatiebehoefte van de technologieën verschilt onderling sterk, niet alleen vanwege de verschillen in aard van de technologieën (temperatuur, druk en thermochemische of elektrochemische omzetting), maar ook vanwege de verschillen in TRL-niveau waarop de verschillende opties zich bevinden. Selectieve ontleding van aardgas en foto-katalytische splitsing van water bevinden zich op TRL 4/5. De ontwikkeling van plasma-chemie zit daar nog een fase voor. De specifieke innovatiebehoefte en bijbehorende activiteiten en tussendoelen zijn beschreven in onderstaande tabel.



Tabel 6 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.1.c 'Alternatieve processen voor duurzame(re) productie van waterstof en syngas'

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
8.1c1: Alternatieve conversies voor concurrerende productie van klimaatneutrale waterstof en syngas	Inzicht in relevantie en haalbaarheid van alternatieve technieken voor productie van waterstof d.m.v. splitsing van water t.o.v. elektrolyse en fotochemische of fotokatalytische productie	Fundamenteel onderzoek naar exploratieve elektrokatalytische en plasma technieken voor het splitsen van water in waterstof en zuurstof, geflankeerd door technology assessment en techno-economic assessments voor benchmark met alternatieven	2020 - 2023			↔				SKF
	Fotokatalytische waterstofproductie 2030: eerste pilot m3 schaal.	FO naar in-situ scheiden van H2/O2, verbetering lichtefficiëntie van ~1~10%, lichtkoppeling en –manipulatie in reactorontwerp	2020-2023			↔				SKF
	Eerste demonstratiefabriek draaiend voor elektrisch gedreven decarbonisatie van aardgas, krakergas en kleine koolwaterstoffen (o.a. plasmachemie, en molten metal)	Screening en onderlinge vergelijking van elektrisch gedreven processen voor splitsen van koolwaterstoffen in waterstof en koolstof inclusief marktverkenning, LCA, CO2-impact etc.	2020-2022							SKS
		Splitsing o.b.v. plasma-technologie: - Selectie en acquisitie plasma technologie - Bouw en commissioning demo - Operatie demo - Flankerend onderzoek t.b.v. optimalisatie	2020-2026			↔		↔		SKS SCA SOP SKF/SKS

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		Molten metal pyrolyse technologie: - Labschaal Proof-of-concept - Pilot molten metal technologie - Flankerend onderzoek t.b.v. optimalisatie	2020-2024				↔			SKT
							↔			SKT
										SKF/SKS

Tabel 7 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.1.c 'Alternatieve processen voor duurzame(re) productie van waterstof en syngas'

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<b>8.1c1 Alternatieve conversies voor concurrerende productie van klimaatneutrale waterstof en syngas</b>	Midden	<p>In 2030 is de verwachte CO<sub>2</sub> impact minimaal, in 2030 op pilot/demo schaal - uitrol 2030-2040 mogelijk</p> <p>In 2050: hoog, kan aandeel leveren in potentieel bij H<sub>2</sub> productie via electrolyse. Hoewel de opgave niet expliciet werd gekozen in het rapport van Ecorys, is er een groep probleemeigenaars in Nederland met een drive om processen te decarboniseren. De slaagkans is gemiddeld: vanwege de lage TRL moet technologie worden ontwikkeld en getest met risico's op falen. Bovendien zijn er andere decarbonisatie routes die concurreren met deze optie. Deze innovatieopgave is alleen relevant voor bestaande bronnen met CO<sub>2</sub> emissies. Als de keten anders wordt ingericht (groene waterstof dominant, raffinage afname) is deze innovatie optie minder relevant. Toelevering van technologie zal voornamelijk uit het buitenland gaan, met integratie en services vanuit Nederland.</p>

## 4.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

*Deelprogramma 1: Productie waterstof, moleculen, en innovatieve hernieuwbare brandstoffen* richt zich op de ontwikkeling en opschaling elektrolyse en elektrochemie voor de productie van moleculen voor inzet als grondstof of energiebron. De realisatie van deze technologie kent vele soorten actoren die in verschillende fasen samen moeten werken:

- Technologische ontwikkeling van water elektrolyse richt zich met name op TRL 3 – 6. Partijen die ervaring hebben in aanverwante gebied van chloor-elektrolyse hebben een sterke kennis basis. Deze werken hand-in-hand met kennispartijen (zowel academisch als vanuit onderzoeksinstituten) en innovatieve MKB aan technologie ontwikkeling en verkennen gezamenlijk de routes naar schaalvergroting en markt toetreding door versterking van de technologie productie. Samenwerkingsverbanden als Faraday lab en ISPT Hydrohub Innovation Program en MegaWatt Testcenter zijn plekken waar de samenwerking voor technologie verkenning en ontwikkeling vormgegeven wordt.
- Bij opschaling naar industriële pilots en toepassingen op 20MW en groter wordt er met name business-to-business samengewerkt. Op deze schaal moet veel geleerd worden over de (dynamische) operatie van elektrolyse systemen. Tegelijkertijd moet infrastructuur voor elektra en gas aangelegd worden en moeten er afspraken zijn over commerciële afname. Deze afspraken en samenwerkingen spelen zich af in de regio en voorbeelden zijn bekend in vrijwel alle industrieregio's in Nederland.
- Bij verkenningen van grootschalige uitrol richting de GW schaal spelen met name regionale verbanden en belanghebbenden een rol, waaronder de havenbedrijven, provincies en gemeentes. Sterke industrie-gedreven consortia als het ISPT Hydrohub GW concept of het H-vision consortium verkennen de opties en kijken naar specifieke implementaties, systeem integratie aspecten. Hier wordt samengewerkt op het raakvlak van academische kennispartijen, consultants en ingenieursburo's om een visie te ontwikkelen voor de uitrol van de waterstof productie. Tegelijkertijd kijken zowel chemische bedrijven, de raffinage sector als de energie en utilities sector naar welke rol zij kunnen spelen in een toekomstig energie systeem. Bekende spelers in dit veld zijn o.a. Nouryon, Yara, OCI, Shell, Engie, Air Liquide, Orsted en nog vele anderen.
- Op het gebied van elektrochemie en CCU is het onderzoek nog sterk academisch van aard. De ontwikkelingen zijn veelal op aanzienlijk lagere TRL's. Hier spelen academia en een instituut als Differ en belangrijke rol.
- Voor alle logistieke en infrastructurele implicaties van vergaande elektrificatie spelen met name de netbeheerders een grote rol. Gasunie en Tennet verkennen gezamenlijk de infrastructuur voor 2050. Gasunie is daarnaast actief betrokken bij alle aspecten vanaf technologie ontwikkeling tot opslag (Hystock) tot verkenningen van transport netwerken zoals de waterstof lijn tussen DOW en Yara in Zeeland. Naast de publieke netwerken kijken ook grote terminal operators als Vopak naar de mogelijkheden die de energietransitie en elektrificatie hun kan bieden.
- Tegelijkertijd wordt internationaal gekeken naar hoe het speelveld van technologie ontwikkeling en opschaling zich ontwikkeld. Met name Europese spelers en Aziatische spelers hebben een grote rol in het veld van water elektrolyse. De grootste partijen zijn op dit gebied Thyssen-Krupp en Asahi Kasei, welke een achtergrond hebben in chloor-alkali technologie en welke ruime ervaring hebben met grootschalige zeer hoogwaardige en efficiënte industriële elektrolyse processen. Daarnaast is er een veld van elektrolyse aanbieders met o.a. partijen als NEL, ITM, Siemens, Hydron, en vele andere in Europa en McPhy en ander namen in China. Deze partijen hebben al lang productlijnen op de markt en kijken nu naar opschalingsmogelijkheden wereldwijd.

## 4.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Uitrol op grote schaal zal met name gericht zijn op regionale implementatie. Lokale infrastructuur voor elektriciteit en gas zijn randvoorwaarden. Met name de regio Groningen (Eemshaven) met aanlanding van elektriciteit vanuit Noorwegen en Denemarken en lokale sterke industrie en een sterke gas sector

sorteert zich voor. Echter, andere regio's zoals Amsterdam (bij Tata), Rotterdam (met een visie ontwikkeling in samenwerking met de Provincie Zuidholland) en Zeeland (waar nu al de grootste hoeveelheid waterstof in Nederland geproduceerd wordt) sorteren zich voor. In al deze regio's wordt gekeken naar de noodzakelijke infrastructuur voor gas transport en aanlanding van elektriciteit.

Naast aanlanding van elektriciteit en lokale conversiemogelijkheden zal de mogelijkheid van aanlanding van internationaal transport van waterstof en energiedragers een rol gaan spelen. Rotterdam heeft daarmee een goede uitgangspositie in de ervaring die daar is opgedaan met de ontwikkeling van de LNG terminal, die een basis vormt voor verdere uitbreiding naar gekoeld waterstof transport. Op dit moment worden daarvoor serieuze plannen in Azië ontwikkeld, met name in Japan. De vraag is hoe op termijn deze optie zich door gaat ontwikkelen wereldwijd.

Naast zeetransport zal ook internationaal transport met gasnetten tot de mogelijkheden gaan behoren. Dit kan zowel gaan om transport vanuit Rotterdam naar het achterland, als op basis van elders geproduceerd waterstof via gasleidingen vanuit het zuiden (obv zon-PV) of oosten (midden-oosten en Rusland obv aardgas).

## 5 Deelprogramma 2: Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen

*N.B. De onderwerpen in de lijn elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen zijn ondergebracht in de overige lijnen.*

## 6 Deelprogramma 3: Flexibilisering en digitalisering

### 6.1 Programmatische aanpak

Met opkomst van grootschalig opgewekte duurzame elektriciteit zal het beschikbare elektrische aanbod gaan fluctueren en de hoeveelheid fluctuerende elektriciteit op het net zal de komende decennia aanzienlijk gaan toenemen. De behoefte om met dit fluctuerende aanbod om te kunnen gaan zal daardoor ook groeien. De vraag is hoe dit fluctuerende aanbod in de industrie op een effectieve en efficiënte manier ingezet kan worden.

Tegelijkertijd moeten we ons realiseren dat het aanbod van lokaal opgewekte duurzame elektriciteit maar een deel van de totale nationale energie behoefte kan invullen. Grootschalige elektrificatie speelt wereldwijd. Hierdoor zal op enig moment grootschalige import van fossiele energie zoals die nu plaatsvindt vervangen worden door import van hernieuwbare energie, waarbij niet gezegd is dat dit op dezelfde schaal of manier zal plaatsvinden, bijvoorbeeld via een HVDC elektriciteitsnet, een pijpleidingnet (als zo'n verbinding met exporterende landen mogelijk is) of per tanker. Wanneer import van elektriciteit niet mogelijk is zal ter plekke conversie moeten plaatsvinden naar waterstof en hoge-dichtheid energiedragers. Er zijn vele mogelijkheden zoals vloeibaar waterstof; binden aan stikstof en transport als ammoniak; binden aan duurzame koolstof en transport als "LNG", of als methanol; binden aan een liquid organic hydrogen carrier (LOHC); opslag in een vaste stof zoals bijvoorbeeld natriumboorhydride ( $\text{NaBH}_4$ ); en zelfs als metaal dat in het land van herkomst is gereduceerd met behulp van hernieuwbare waterstof. In de transitiefase zullen ook opties als import van koolstof-arme waterstof verkregen door decarbonisatie van aardgas (waterstofproductie met CCS) een rol spelen, afkomstig uit winning daarvan in landen die nog grote voorraden gas hebben. Bij het beschikbaar hebben van voorraden van deze energiedragers in tankparken of andere opslag systemen zullen ze een duurzame bron van energie en grondstoffen vormen die een van de 'flex' opties voor de industrie vormen waar de industrie uit kan kiezen.

De industrie heeft zich over de afgelopen decennia geoptimaliseerd naar continu operatie en economy-of-scale. Proces sturing is daarbij gericht op het borgen van de product specificaties en kwaliteit. Operationele aanpassing van productie vindt met name plaats obv de marktvraag (productie planning en scheduling). Tegelijkertijd maakt de industrie nu al gebruik van een energie mix die bestaat uit externe bronnen (gas, olie, kolen, elektriciteit) en interne stromen (o.a. (rest-) gassen, warmte cascadering met stoom netwerken). Met introductie van elektrificatie opties en grootschalig aanbod van duurzame brandstoffen (waterstof en afgeleiden, nationaal opgewekt en geïmporteerd) komen er de komende decennia extra vrijheidsgraden in het optimaliseren en sturen van de energie mix. Daarnaast kan bij voldoende piek aanbod of dal tekorten ingespeeld worden bij het afvangen op pieken in de stroom opwek. De vraag is daarbij wel in hoeverre een investering in een elektrische infrastructuur of een gas infrastructuur kosteneffectief is om piek aanbod via de industrie op te vangen.

Tegen deze achtergrond heeft de industrie voor flexibilisering de volgende innovatie uitdagingen. De eerste uitdaging is om de duurzaam opgewekte energie en grondstoffen zo efficiënt mogelijk in de unit operatie te krijgen en daarbij te borgen dat de industrie flexibel kan opereren en productiviteit kan borgen. De volgende indeling in opgaven wordt hierbij gemaakt:

- Transmissie en distributie van duurzame elektriciteit, transport van opwek tot het hek – efficiënt grid om aanbod op schaal in de industrie te krijgen – elektriciteit wordt in windparken en PV in DC vorm opgewekt, en in de unit operatie in DC toegepast. Vraag is hoe de overgang DC – AC – DC efficiënt gemaakt wordt en of er ruimte is voor DC infra voor grootschalige applicaties in industrie regio's (in afstemming met MMIP 13)

- Distributie van energie en utilities binnen het hek – hoe wordt het elektrisch systeem uitgelegd om van aanbod naar toepassing te komen, waar worden DC/AC overgangen gemaakt, waar wordt op welke vermogensniveaus geschakeld en gestuurd om een maximaal flexibel en efficiënt systeem te borgen? Traditioneel worden processen in de industrie met name ontworpen vanuit de warmtevraag en worden stoom en warmte netwerken aangelegd. Deze gaan nu gecombineerd worden met elektrische utility netwerken waar nog veel kennis ontwikkeld moet worden.
- De rol van energie opslag en systeem-integratie – voor borgen van continu operatie speelt energie opslag en uitwisseling een belangrijke rol. Continu levering van elektriciteit op zeer hoge vermogens (GW schaal) voor langere perioden is zeer kostbaar en niet voor handen. Daarom zal enerzijds meer kennis en inzicht in opslagmogelijkheden en technologie ontwikkeld moeten worden en zal er anderzijds ruimte zijn voor hybride toepassingen (mix van elektriciteit en gas) voor het aandrijven van hoge temperatuur processen. Dit zal deels op niveau van individuele bedrijven aangepakt worden en deels via ontwikkelen van opslagfaciliteiten op regionaal of nationaal niveau. In afstemming met MMIP7 waar power2heat een rol speelt, en in MMIP13 waar in programmaliijn 5 diverse opslagtechnologieën onderzocht worden die in industriële omgeving ingezet kan worden.
- Voor buffering en energievoorziening via import is de innovatie opgave om te komen tot een robuuste selectie van goed inpasbare en breed gedragen alternatieve hernieuwbare energiedragers obv waterstof uit duurzaam opgewekte elektriciteit. Grootschalige import van wind- en zonne-energie per pijpleiding of per schip wordt pas ruim na 2030 voorzien. Omdat ontwikkeling een lange aanlooptijd kent dient nu al te worden begonnen met de ontwikkeling van deze optie zodat die op termijn geen belemmering in de voortgang van de energie transitie vormt. Japan geeft hiervoor een inspirerend voorbeeld met hun verkenningen van import uit Australië. Voor deze ontwikkeling worden opeenvolgende verkenningen, haalbaarheidsstudies en ontwerpstudies voorzien die uiteindelijk moeten leiden tot eerste praktijkprojecten. Dit dient in nauwe samenwerking met internationale partners plaats te vinden.

Digitalisering is een tweede belangrijke driver voor innovatie in de industrie. Vanuit research en engineering is er al vanaf de jaren 50 aandacht voor toepassing van digitale technologie in ontwikkeling, ontwerp, optimalisatie en operatie van industriële processen. Process Systems Engineering en Process Control zijn de disciplines die zich hier van oudsher mee bezig houden. Met de opkomst van steeds grotere computationele capaciteit in de afgelopen 10 jaar (met opkomst van cloud diensten, analytics, nieuwe sensor technologie en vele andere mogelijkheden) nemen de mogelijkheden voor de inzet van digitale technologie zeer toe. De vraag is hoe deze kennis en technologieën ingezet gaan worden voor het bedrijven van flexibel aangestuurde processen. Voor zowel continue als discontinue (batch) procesoperatie geldt conventioneel als aanname dat alle grondstoffen en nutsvoorzieningen (stoom, koelwater enz.) altijd beschikbaar zijn. Bij het inzetten van duurzame elektriciteit geldt deze aanname niet langer. Er zijn drie opties om hier mee om te gaan:

1. Aanpassen van de procesoperatie: Het proces volgt het aangeboden electriciteitsprofiel. Als duurzame elektriciteit wegvalt stopt het proces;
2. Introduceren van buffercapaciteit: Elektriciteit of afgeleiden (bijvoorbeeld waterstof) worden opgeslagen en ingezet als duurzame elektriciteit wegvalt.
3. Ontwerpen voor hybride voeding: Het wegvallen van duurzame elektriciteit wordt gecompenseerd door een andere voeding zoals bijvoorbeeld gas.

Deze opties kunnen worden gecombineerd. Introductie van een kleine buffercapaciteit betekent dat stoppen enige tijd kan worden uitgesteld. Alle opties hebben een significante invloed op procesoperatie, -ontwerp en -regeling en de samenhang hiertussen. Op dit moment worden processen bijvoorbeeld niet ontworpen om snel te starten en te stoppen, verder moet beseft worden dat het procesgedeelte tot aan en inclusief de buffercapaciteit het aangeboden electriciteitsprofiel volgt. In het algemeen kan worden gesteld dat procesoperatie, -ontwerp en -regeling aan hogere specificaties moeten gaan voldoen terwijl hun onderlinge afhankelijkheid sterk toeneemt.

De innovatie uitdagingen die hiermee samenhangen zijn de volgende:

- Ontwerp en operatie voor flexibiliteit – het hele veld van Process Systems Engineering en Process Control speelt een belangrijke rol in ontwerp en operatie van grootschalige flexibele processen. Deze domeinen bieden de kennisbasis voor ontwerp van geïntegreerde flexibele systemen van unit operatie tot plant tot complete site. Daarbovenop komt de integratie in de regionale setting (o.a. via Industriële Symbiose) en de koppeling met planning en scheduling van operaties die rekening kunnen houden met vraag en aanbod aan de product kant alsook aan de energie kant. De innovatie opgave richt zich op hoe grootschalige systemen ontworpen kunnen worden die stuurbaar zijn en een optimale energie mix gebruiken zodat minimale CO<sub>2</sub> emissie hand-in-hand gaat met betrouwbare productiviteit. In het ontwerp van faciliteiten voor de maakindustrie speelt de term ‘digital twinning’ belangrijke rol – het digitaal kopiëren van de productieketen voor ontwerp en analyse van de proces flow. Hoe digital twinning concepten naar de proces industrie vertaald worden en een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het optimaliseren van proces ontwerpen is een innovatie uitdaging voor de digitalisering van de proces industrie.
- Proces data voor betrouwbare flexibele operatie – Door snelle ontwikkelingen in proces analyse systemen komt in moderne fabrieken steeds meer procesdata beschikbaar. De grote hoeveelheid data is op zich van beperkte waarde, het gaat erom een vertaling van data naar informatie te maken op basis waarvan beslissingen genomen kunnen worden. Dit speelt een grote rol in proces besturing, in onderhoud (condition based maintenance) en in optimalisatie van bedrijfsvoering. Flexibele proces operatie maakt hier gebruik van. Innovatie aan de hardware kant en aan de digitale kant is beiden van belang.
- Integratie en koppeling van ketens en markten – met beschikbaar komen van grootschalige duurzame energie in nieuwe vormen gaan nieuwe energie markten ontstaan. De aansluiting van industriecomplexen op deze markten zullen voor een groot deel data-gestuurd gaan worden. De vraag is hoe deze markten eruit gaan zien en hoe de koppeling tussen verschillende energie markten en industrie operatie een sturende rol kunnen gaan spelen in de operatie. Standaardisatie, markt inrichting en data-sharing zijn belangrijke ingrediënten bij het tot stand komen van deze nieuwe markten en een grote rol zullen gaan spelen bij rol van de industrie in het borgen van een robuust flexibel energie systeem. Dit onderdeel sluit nauw aan op programmalijn 6 van MMIP13 en zal in samenhang daarmee opgepakt worden.
- Inzet van digitale technologie over de hele industriële keten vereist zowel specialisten met kennis van industriële processen en operaties, als specialisten met state-of-the-art kennis op gebied van digitale technologie en applicatie kennis, data management en analytics. Beschikbaarheid van expertise op dit kruispunt van disciplines is een grote bottleneck die voor de slagkracht van vernieuwing van de industrie op dit gebied hoog noodzakelijk is. Daarbij komt dat op gebied van process control en process systems engineering de afgelopen jaren de onderwijscapaciteit voor procestechnologen in Nederland is teruggelopen en onderbelicht. Gerichtte actie voor het versterken van deze kennisbasis in de opleiding van technologen in Nederland is hiervoor zeer belangrijk.

### **MVI aspecten van digitalisering en Flexibilisering**

De toenemende digitalisatie van de industrie en ontwikkeling van kunstmatige intelligentie brengt verschillende ethische kwesties, angsten en bezwaren naar voren. De grootste uitdaging voor het bedrijfsleven om hun digitalisatie bedrijfsstrategie te implementeren, is volgens recent onderzoek dan ook culturele weerstand. De vraagstukken die we tegenkomen zijn onder andere angst voor banenverlies en verminderde autonomie vooral voortkomend uit een gebrek aan transparantie en inzage in de werking van intelligente systemen. De aandacht voor de gevolgen van de toename van het gebruik van algoritmes en kunstmatige intelligentie als zelfstandig besluiten nemende entiteiten: wordt samengevat in de term Algocratie. Voor de industrie komt dit neer op: “Een smart factory functioneert op basis van voorspellende algoritmen die beslissingen nemen. Deze algoritmen zijn niet transparant, kunnen verkeerde verbanden leggen en menselijke vooroordelen op grote schaal verspreiden waardoor een blackbox-samenleving ontstaat waar niemand meer weet op welke manier algoritmen besluiten nemen en op basis van welke data.”



Naast ethische bezwaren zijn er ook praktische redenen waarom de kansen van digitalisering nog niet optimaal worden benut. Er is een noodzaak om betere aansluiting te realiseren tussen digitaliseringsexpertise en procesvernieuwingen in de industrie. Digitaliseringskennis is versnipperd en wordt niet altijd meegenomen in engineering, technische specificaties en inkoopprocessen.

### **Flexibilisering**

Flexibiliteit en incentives voor industrie moeten goed worden uitgelegd voor maatschappelijke acceptatie, bijvoorbeeld wanneer er incentives komen voor industrie om de productie terug te brengen ten behoeve van stabilisering van het energiesysteem. Er moet worden voorkomen dat de maatschappelijke perceptie ontstaat dat partijen worden betaald om niets te doen.

Tabel 8 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.3: Flexibilisering en digitalisering

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
Innovatie opgave voor flexibele operatie van de industrie										
<b>8.3 Transmissie-distributie netwerk</b> – robuuste en betaalbare infrastructuur voor flexibele operatie – in samenhang met MMIP13										
8.3a: Hoogvermogen DC-systemen voor flexibiliteit en energie efficiëntie in hoogvermogen processen van opwek tot toepassing	Doel 2030: Een regionaal ontwikkeld DC-netwerk voor demonstratie in operatie waar meerdere industriële hoogvermogen DC elektrische processen gekoppeld zijn. Zicht op bredere uitrol in Nederlands industrie regio's in tijdsbestek 2030 – 2050.	Ontwikkeling roadmap DC technologie over de hele keten, van opwek op afstand tot applicatie in de fabriek, met duidelijke demarcatie innovatie trajecten op TSO/DSO gebied en op gebied van de poort tot het proces, en afweging AC/DC transformatie keuze. Inventarisatie van bottlenecks in regelgeving voor toepassing van DC systemen.	2020 - 2022			↔	↔	↔	↔	SKS
		Pilotproject regelbare hoogvermogen DC technologie poort-tot-proces		2021-2025			↔	↔		SKT
		(Pre-) Engineering & Design industriële demonstratie van gekoppeld DC netwerk		2023-2026				↔		SKT/SCA
8.3b: Opslag van elektriciteit voor toepassing in industriële processen	2030: 1-2 projecten op pilot/demo-schaal gerealiseerd.  <i>In samenwerking en in afstemming met de technologie portfolio van MMIP13.</i>	Inventarisatie van technische opties en potentie van elektrische energie opslag voor inzet op industriële schaal (e.g. elektrolyse, warmte/koude, redox flow) en omgeving. Verkenning van toepassingen voor begrip van kansen (Marktfunctie, volumes en dynamische karakteristieken)	2020 - 2022			↔	↔	↔		SKS
		Pilot/demo project voor elektrische energie opslag op industrieel relevante schaal in industriële omgeving.	2021-2026					↔		SKT

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument		
8.3c: Import nieuwe energiedragers voor toepassing oa in de industrie (waterstof, elektrofuels)	2030: Participatie in minimaal 1 internationale pilot voor toekomstige import van hernieuwbare energie in de vorm van een alternatieve energiedrager (H <sub>2</sub> in enige form of drager (NH <sub>3</sub> , LOHC etc))	Gedetailleerde technology assessments voor een nader te bepalen aantal alternatieve energiedragers voor toekomstige import van hernieuwbare energie, met evaluatie en onderlinge vergelijking op basis van een brede set van techno-economische en maatschappelijke criteria om te komen tot een set van robuust inpasbare en breed geaccepteerde energiedragers die in aanmerking komen voor ontwikkeling van internationale pilots	2020-2022							↔	SKS	
		Haalbaarheidsstudies naar een pilot voor toekomstige import van zon- en windenergie in de vorm van de meest kansrijk geachte alternatieve energiedragers samen met internationale partners	2020-2024								↔	SKS
		Industrieel onderzoek en experimentele ontwikkeling t.b.v. ontwikkeling van pilots en demo's voor geselecteerde energie en waterstofdragers	2020-2026					↔				SKT
		Definitie en ontwerp van de meest haalbare pilot samen met internationale partners			2024-2028			↔				SKT/SCA
		Realisatie van de pilot samen met internationale partners ( <i>gepland na 2028</i> )							↔			SCA
Digitalisering in design en operatie												
8.3d: Ontwerp van flexibele processen, plants en sites	Nieuwe ontwerpmethodieken ontwikkeld en toegepast bij pilot en	Ontwikkeling en toepassing van process system design en engineering methodieken die inherent proces dynamica meeneemt en techno-	2020-2027				↔	↔			SKF/SKT	

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering Geschikt instrument
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	
	demonstratie projecten voor grootschalige elektrisch gedreven systemen, verbreding mogelijkheden door betere ontwerpprocessen bij equipment builders. Fundamenteel (modelgebaseerd) begrip (economisch, bedrijfszekerheid enz.) van opschaling 'by size' vs 'by number'	economische optimalisatie combineert met optimalisatie van energie, milieu en sociale/publieke waarden. Integraal modelgebaseerd ontwerp van procesoperatie, -ontwerp en -regeling. Hiertoe behoort ook het ontwerpen van operationele vrijheidsgraden.								
8.3e: Digital twinning van productie processen en sites	Energie reductie realiseren dmv bestaande digitale technieken	Demo projecten mogelijkheden van digital twinning die leiden tot energie reductie	2020 2024					↔		SKT
8.3f: Applicatietesten demand response strategieën	Benodigde bouwstenen voor sturingsmogelijkheden identificeren	Opstellen roadmap smart sensoren	2020						↔	SKS
	Basis leggen voor sturingsmogelijkheden	Onderzoek toepassingen nieuwe sensoren tbv proces controle en optimalisatie, onderhoud of design	2020 - 2023				↔	↔		SKT
	Sturingsmogelijkheden over keten heen mogelijk maken	Onderzoek nieuw vormen van veilige manieren van data-uitwisseling zoals homomorfe cryptografie en federated learning	2020 - 2023			↔	↔			SKT
	Response mogelijkheden aanwezig bij industrie	Pilot applicatie onderzoek en benchmarking energie trading tools in industriële setting, bepalen van	2020 - 2023				↔	↔		SKT

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
	op korte en lange termijn fluctuaties	energiemix optimalisatie d.m.v. advanced digitale technieken als modellering, artificial intelligence en distributed ledger technologieën								
<b>8.3g: Applicatie verbreden advanced process control</b>	Aansturing van geëlektrificeerde processen flexibel krijgen.	Applicatie en piloting onderzoek voor toepassingen van advanced en model based proces control voor elektrisch aangedreven units en processen, gebruikmakend van alle beschikbare informatie (bijv. ook weersvoorspellingen voor renewables capaciteit inschatting).	2020 2027				↔	↔		SKT
Integratie en koppeling ketens en markten										
<b>8.3h: Flexibiliseren productiecapaciteit elektrisch gedreven processen (hieronder zijn acties opgenomen tbv het realiseren van de algemene randvoorwaarden)</b>	Zorgen dat flexibiliteit in de industrie wordt geïmplementeerd en benut wordt en de voorwaarden voor symbiose over ketens en plants heen mogelijk is  <i>In afstemming met programmaliijn 6 van MMIP 13.</i>	Inventarisatie van flexibiliteitstechnieken en kansrijke incentives Inventarisatie van de flexibiliteitsmogelijkheden in diverse industriële processen	2020						↔	SKS
		Werkgroep standaardisatie Industrial dataspace en datasharing op nationaal en Europees level oprichten	2020 2027						↔	SKS
		Onderzoek naar juridisch framework rond data ownership en beveiliging	2020						↔	SKS
		Aansluiting met internationale partners, te weten het Internationaal Energie Agentschap, waar projecten gericht op digitalisering en energie-efficiency zijn gestart. Link met het IEA 4E EMSA programma is aanbevolen	2020 2027						↔	SKS

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		Erkende maatregelen lijst uitbreiden met digitale technieken op gebied van energiehuishouding en gebruik van inline sensoren	2020-2027							↔ SKS
		Ontwikkeling van referentie architecture verbonden met internationale standaarden als OPC-UA of Reference Architectural Model Industry 4.0 (RAMI 4.0). Zij bieden een sjabloon voor het opstellen van specifieke architecturen en versnellen het ontwerpproces en kunnen helpen standaardisatie op het gebied van communicatie, encryptie, fysieke en applicatie interfaces te versnellen en inzichtelijk te maken.	2020-2024							↔ SKT/SKS
		Onderzoek naar Ontwerpmethodieken voor publieke waarden van eind users (operator, managers, maatschappij) van digitale smart industry applicaties	2020-2022							SKF
HCA en MVI aspecten van flexibiliteit en digitalisatie										
8.3i: HCA aspecten	Kennis beschikbaar krijgen bij industrie.	Verbinden van kennis op uni's met omgeving van industrie via integrator bedrijven en valorisatiecentra	2020-2027							↔ SKF
	Relevante professionals verbonden en kennis toegenomen	Learning communities ontwikkelen en stimuleren. Focus per doelgroep: operators, toeleveranciers, etc.	2020-2027							↔ SKF/SKS
	Via Fieldlab Smart Processing zorgen dat mogelijkheden van	Opzetten Hybride leeromgeving en fieldlab binnen 1 of 2 industriële regio's.	2020-2023							↔ SKF/SKS

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
	flexibilisering bekend zijn en zorgen dat flexibiliteit in de industrie wordt geïmplementeerd en benut wordt. Verbinding leggen tussen hardware programmeurs en operators en proces engineers voor verbreden kennisbasis bij uitvoerders.	Omgeving creëren waarin ook applicaties kunnen worden ontwikkeld, zichtbare use cases zijn. Doel is koppelen van (multi-level) onderwijs en praktijkgericht (ontwerp)onderzoek naar product- en procesinnovatie in het bedrijfsleven. Tevens valorisatie workshops en hackatons samen met field labs, valorisatiecentra van universiteiten, kennisinstellingen en een aantal industriële partijen.								
		Opzetten van regeling om facilities en equipment voor HBO, ROCs op gebied elektrochemie, warmtepompen en andere innovaties (leasing, marktplaatsen, subsidies etc)	2020 - 2022							↔ SKT
		opzet en coördinatie van mogelijkheden voor Minors elektrochemie, circulariteit en warmte tbv HBO's proces technologie opleidingen ism bedrijfsleven	2020 - 2022							↔ SKT
		opzet en coördinatie van mogelijkheden voor practoraten elektrochemie, circulariteit en warmte tbv ROC's proces techniek opleidingen ism bedrijfsleven	2020 - 2022							↔ SKT
		Postacademisch onderwijs aanbod verrijken en aanbieden via relevante graduate schools	2020 - 2027							↔ SKF/SKT
		Coördinatie en support van HCA activiteiten voor industriële innovatieopgaven	2020 - 2027							↔ SKS

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		Start van stimuleringsprogramma tot Curriculum aanpassing tbv Computational skills, elektrochemie op ROC en HBO ism HTSM	2020-2023							↔ SKT
8.3j: MVI aspecten	Ethische keuzes mogelijk maken	(Voortzetten van) maatschappelijke dialoog en experimenteren	2020-2024							↔ SKS

Tabel 9 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.3: Flexibilisering en digitalisering

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<b>8.3a: (Hoogvermogen) DC-systemen voor flexibiliteit en aandrijving van elektrische processen van opwek tot toepassing</b>	Midden	Verwachte CO <sub>2</sub> impact is hoog omdat deze innovatieopgave rand voorwaardelijk is voor systeem efficiëntie voor bijvoorbeeld grootschalige elektrificatie van waterstofproductie, power to heat, en in conventionele elektrochemie (aluminium, zink, etc.). In Nederland is veel kennis van power systems en engineering van utilities, in de ons direct omringende landen is deze kennis ook aanwezig. Innovatie en onderzoekstrajecten naar industrie inpassing beginnen zich te ontwikkelen, o.a. via kruisbestuiving met andere sectoren zoals gelijkstroom in railtransport en in de maritieme sector. Kennisontwikkeling op systeemintegratie is een aandachtspunt vanwege de noodzaak voor regionale afstemming en inrichting van transmissie en distributiesystemen en inpassing in de industriële omgeving.
<b>8.3b: Opslag van elektriciteit voor toepassing in industriële processen</b>	Laag	Energie opslag bij industriële processen is een enabler in voorziening van groene stroom voor elektrificatie die kan helpen met een continu aanbod, waarbij groene waterstof productie en andere directe elektrificatie opties ondersteund kunnen worden. Hiermee kan het na opschaling en implementatie een grote impact op CO <sub>2</sub> emissie hebben, waarschijnlijk na 2030. Marktpartijen verkennen de technologie en rol van elektrische opslag (o.a. redox flow), inschatting en verkenning van inpassing en technologie opties moeten verder uitgewerkt worden. Technologie aanbod bevindt zich grotendeels buiten Nederland.
<b>8.3c: Import nieuwe energiedragers voor toepassing oa in de industrie (waterstof, elektrofuels)</b>	Midden	Bij opschaling van duurzame energie opwek kan internationale handel in groene energiedragers (waterstof, ammoniak, methanol, etc) ontstaan. Deze zal fossiele energiedragers vervangen en heeft hoge impact op CO <sub>2</sub> emissie reductie. Aanbiedende partijen beginnen de markt te verkennen en internationaal zijn de eerste



Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
		stappen zichtbaar, o.a in Japan en Australië. In Nederland ligt eigenaarschap rond dit domein bij infra en overslag/opslag operators die zich actief oriënteren maar nog niet echt trekken. De toeleverende keten voor ontwikkeling en uitrol van faciliteiten en infrastructuur is sterk vertegenwoordigd, de innovatie opgave is nog niet scherp vormgegeven en het innovatie systeem zal zich op internationale schaal vorm moeten geven. Nederland heeft zeker een kans om daar een positie in te verwerven maar dit zal nog enige tijd duren voor het volledig tot ontwikkeling is gekomen.
<b>8.3d: Ontwerp van flexibele processen, plants en sites</b>	Midden	Ontwerp van geïntegreerde sites heeft zich in de loop van generaties ontwikkeld. Bij transitie naar andere energie bronnen en elektrificatie zal onderlinge afhankelijkheid tussen processen en systeem dynamica steeds belangrijker worden. De impact op CO <sub>2</sub> besparing kan vanuit in de ontwerp fase zeer groot zijn. Er is een drive vanuit eind gebruikers om grip te krijgen op de transitie uitdaging en bedrijven zetten vaak op eigen kracht stappen hiertoe. Voor concept ontwikkeling en design is er in de sterk geïntegreerde clusters aandacht, de toeleverende keten en de kennis in academie en kennis instellingen is minder sterk ontwikkeld al is er vernieuwde aandacht voor. Het innovatiesysteem heeft daarmee een duw nodig om zich te versterken en ontwikkelen.
<b>8.3e: Digital twinning van productie processen en sites</b>	Midden	Rond digital twinning vinden veel ontwikkelingen plaats, o.a. gericht op onderhoudsvraagstukken, proces design en veiligheid. etc. en gebeurt volop. Impact op CO <sub>2</sub> emissie reductie zal beperkter zijn omdat het vooral toegepast wordt op optimalisatie van bestaande systemen, en (nog) minder in de design fase bij transitie naar nieuwe systemen. De industriële inpassing is nog beperkt, bedrijven beginnen er net mee. Er is veel aanbod (o.a. bij MKB) maar toepassing loopt achter, kennis ontwikkeling en competenties bij bedrijven is nodig. De IT sector proberen het domein te pakken – o.a vanuit SAP en logistieke keten ondersteuning proberen die door te kijken naar operatie, technologie pull. Het innovatie systeem rond industrie is nog niet ontwikkeld.
<b>8.3f: Applicatietesten demand response strategieën</b>	Hoog	Demand response aan de industrie kant heeft een rol te vervullen in een stabiel duurzaam energie systeem over de ketens en is van belang voor een optimaal opererende keten. Impact op CO <sub>2</sub> emissiereductie is nog moeilijk in te schatten: er is grote potentie maar er zijn nog veel onzekerheden, met name vanwege de grote afhankelijkheden met vereiste institutionele aanpassingen (markten, mededing, wetgeving op nationaal en Europees niveau). Trekkkracht op dit onderwerp komt beperkt vanuit de eindgebruikers, maar wordt gestimuleerd vanuit de energie sector (energie productie, transmissie en distributie) en is vooral gekoppeld met de energie inkoop in industrie. Power sector heeft groot belang bij goed werkend systeem. Daarnaast zijn kennis-intensieve MKB's, ESCO gerichte utiliteits leveranciers en adviseurs actief. Er is veel

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
		domeinkennis en de keten is in principe goed vertegenwoordigd maar mogelijk nog niet in alle elementen verbonden en betrokken waardoor het innovatie systeem nog verder ontwikkeld kan worden.
<b>8.3g: Applicatie verbreden advanced process control</b>	Midden	Process control heeft invloed op een optimale en efficiënte operatie. In praktijk is hier gemiddeld tot in sommige gevallen (zeer) hoge CO2 emissie besparing mogelijk door reduceren van variantie en optimalisatie van energie gebruik voor de beoogde product specificaties. Eigenaarschap zit in principe bij de operators van installaties. Operationele kennis is ruimschoots aanwezig maar er ontbreekt vaak innovatie kracht of wordt te weinig prioriteit gegeven voor het implementeren van geavanceerde(re) process control technieken. Daarnaast vraagt de proces control kennis op academisch niveau in Nederland om aandacht. In andere landen is deze sterker ontwikkeld. In de uitvoering zijn er kennisleveranciers en adviseurs actief in de Nederlandse industrie en er is een vakvereniging waar control specialisten kennis uitwisselen. Voor verbreding en opname van de technologie is het innovatie systeem sterk ontwikkeld maar support bij prioritering en kennis deling kan grotere impact helpen verbreiden. Daarnaast moet een brug geslagen worden naar het ecosysteem dat is ontstaan rond data analytics, AI en digitalisering in andere (ICT en start-up gerichte) sectoren. De afstand van de proces industrie tot deze wereld is nog groot terwijl die potentieel het nodige heeft te bieden.
<b>8.3h: Flexibiliseren productiecapaciteit elektrisch gedreven processen (hieronder zijn acties opgenomen tbv het realiseren van de algemene randvoorwaarden)</b>	Hoog	In deze categorie valt een vergelijkbare redenering op te zetten als bij 8.3 h. De focus bij deze lijn richt zich echter meer op het creëren van institutionele randvoorwaarden, standaardisatie en internationale samenwerking. Dit punt is dus bij uitstek gericht op internationale verbinding maken op de aanpak van industriële elektrificatie en flexibilisering. Deze processen lopen traag maar zijn een zeer belangrijke randvoorwaarde voor het vormgeven van de industrie-rol in een flexibel energie systeem.
<b>8.3i: HCA aspecten</b>	Hoog	Gebruik kunnen maken van digitalisering is voor de proces industrie voor een belangrijk deel afhankelijk van beschikbare een resources en kennis. Gerichte aandacht op ontwikkeling van voldoende kennis basis en werkkraft in Nederland is belangrijke randvoorwaarde om op dit onderwerp succesvol te kunnen zijn.
<b>8.3j: MVI aspecten</b>	Hoog	De beschikbaarheid van duurzame energie zal voor lange tijd beperkt zijn ten opzicht van de energie en grondstof behoefte. Een doorlopende verkenning van dit domein en verbreding van de inzichten op een faire verdeling en gebruik van energie over alle sectoren is belangrijk. Maatschappelijk zicht op het belang van de industrie in het energie systeem is herbij van groot belang.

## 6.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

Flex speelt zich af op het raakvlak van dynamische proces operatie, inzet van infrastructuur en opslag en transport, heeft zowel een component van aansturing en planning van processen als een asset component.

De technologische innovatieopgave voor de “smart” industry ligt niet primair binnen de Topsector Energie maar binnen de Topsector HTSM. Het is aan de topsector energie om te focussen op het toepassen van de beschikbare komende technologische mogelijkheden voor de thema’s circulariteit, warmte-uitwisseling en flexibiliteit. Innovatieopgaven binnen de topsector energie liggen er wel rond Advanced Proces Control, Process Analytical Technology, Energie systeem architectuur.

Versnelling ontstaat ook door aansluiting met internationale partners, te weten het Internationaal Energie Agentschap, waar projecten gericht op digitalisering en energie-efficiency zijn gestart. Link met het IEA 4E EMSA programma is ook aanbevolen, met name de Nederlandse bijdrage voor de Taak Digitalisering in de industrie – focus op productietechnologieën en aandrijvingen. Focus ligt op identificeren van technologieën, best practices, kansen voor stimulering, regelgeving (Ecodesign, Energie efficiency) en economie (industrie, diensten, onderzoek en onderwijs, export).

## 6.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Bij uitrol van flex opties zal er een nauwe samenwerking tussen afnemers en aanbieders plaats moeten gaan vinden. Nieuwe energie markten zullen vormgegeven moeten worden op basis van duurzame energie, en flexibiliteit in de industrie zal als dienst aangeboden gaan worden voor stabiliteit op het grid. De vraag is daarbij over welke afstanden flexibel vermogen de kust gaat bereiken en op welke schaal het elektriciteitsgrid met de industrie gekoppeld gaat worden. Als grootschalige kraakinstallaties of steam reformers of Tata steel in IJmuiden elektrisch verwarmd gaan worden zal dit om een zeer zware elektrische infrastructuur vragen die een hoog dynamisch bereik moet hebben terwijl de industrie naast elektriciteit ook andere energie in zal moeten nemen. Wordt de hoofdleverantie echter voorzien vanuit waterstof die elders (zowel op Noordzee als van ver via scheepvaart of gasleidingen) geproduceerd wordt en aangeboden wordt dan zal grootschalige opslag (ondergronds op de Noordzee of in zoutcavernes bijvoorbeeld) een belangrijke rol gaan spelen die een bufferende werking moet gaan spelen. In deze tweede instantie zal dynamiek mogelijk op langere tijdschalen een rol gaan spelen die vraagt om ander soort benadering van flex operatie.

## 7 Deelprogramma 4: (Radicaal) vernieuwde processen

### 7.1 Programmatische aanpak

Bijna alle processen in de industrie zijn ooit ontwikkeld zonder restricties t.a.v. broeikasgasemissies en elektrische energie is bijna altijd duurder dan thermische energie. Daardoor komen bijna alle industriële processen van vandaag in aanmerking voor radicale vernieuwing.

Binnen andere industriële sectoren is de noodzaak voor radicale doorbraken kleiner, vanwege de veel kleinere bijdrage aan de totale CO<sub>2</sub> emissies. Wel ligt er een interessante mogelijkheid in de papierindustrie, waar een watervrij proces een reductie van 70% van het energieverbruik kan bewerkstelligen

#### Overzicht Innovatieopgaven

De innovatieopgaven rondom staalproductie concentreren zich rond het Hisarna proces zoals dat bij Tata Steel wordt ontwikkeld en gereed is voor demonstratie. Andere methoden zijn directe reductie met waterstof (Hybrit, door SSAB/LKAB) en elektrolyse (Siderwin, door Arcelor Mittal), die nog in pilot fase verkeren.

De innovatieopgaven rondom hoge temperatuurverwarming valt in twee delen uiteen. Het ene deel betreft ontwikkeling, opschaling en demonstratie van conventionele diverse elektrische verwarmingsmethoden en de inpassing daarvan in bestaande processen als stoomkraken, methaanreforming en vacuümdestillatie. Er zijn verschillende technische opties: resistieve verwarming, inductie, plasma, microgolf en kinetisch. De technische principes zijn veelal bekend, maar het praktisch ontwerp van apparatuur en de inpassing in commerciële geïntegreerde omgevingen vertegenwoordigen een enorme opgave. Niet alle technieken zullen de eindstreep halen. Tot 2030 ligt de nadruk op opschaling en demonstratie, daarna (als ook de elektriciteitsbeschikbaarheid toeneemt) kunnen geleidelijk commerciële installaties omgebouwd gaan worden.

Het tweede deel betreft geheel alternatieve routes naar de gewenste producten uit stoomkraken, waarbij dus een nieuwe productieroute ontstaat. Daarbij kan men denken aan conversie van CO<sub>2</sub>. Die processen verkeren op een aanzienlijk lager TRL-niveau, en daarom zal tot 2030 vooral onderzoek plaatsvinden.

In principe maken deze technologieën eliminatie mogelijk van alle uitstoot gelieerd aan hoge-temperatuurwarmte, ca. 15Mtpa.

De ontwikkelingsinspanning bij Hisarna richt zich daar op 3 deelgebieden: het afvangen van CO<sub>2</sub> (dat in het Hisarna proces in hoge CO<sub>2</sub> concentratie vrijkomt en dus gemakkelijk en voordelig is af te vangen), de vervanging van kolen door koolstofbronnen met een gunstiger broeikasgasprofiel (aardgas, biomassa) en het gebruiken van meer elektrisch te verwerken schroot. In alle gevallen gaat het hier vooral om opschaling van al onderzochte technologie. Daarna wordt de stap naar demonstratie van het gehele proces gezet. Gezamenlijk leidt dat tot emissiereductie in 2030 van meer dan 50%.

Waterstofproductie komt op verschillende plaatsen aan de orde, o.a. in MMIP6 en in deelprogramma 1 van deze MMIP8. Op deze plek willen we wel een aantal radicaal nieuwe, elektrisch gedreven processen vermelden, in aanvulling op elektrolyse en varianten op stoomreforming. Dat zijn *decarbonisatie* processen, waarbij lichte koolwaterstoffen (fossiel of biogeen) met elektrische technieken (plasma, molten metal) worden omgezet in waterstof en koolstof en de hele broeikasgasemissie (7 Mtpa) kan worden vermeden. De technieken verkeren op laag (molten metal) en middel (plasma) TRL niveau en kunnen tegen 2030 op demonstratie respectievelijk commercieel niveau worden gebracht.

Watervrije papierproductie verkeert op een relatief laag TRL-niveau, de inspanning hier betreft vooral ontwikkeling van alternatieve hulpstoffen en toepassingstechniek om aan het gewenste eindproduct te

komen. CO<sub>2</sub> besparingspotentieel is ongeveer 0.5Mtpa en de techniek zou tegen 2030 in demonstratiefase moeten zijn.

Een radicale vernieuwing van duurzame brandstoffen voor elektriciteit en warmte is het gebruik ijzer als compact energie opslagmedium die cyclische energieopslag (power-to-Fe) en energiewinning (Fe-to-power) mogelijk maakt. IJzer kan als energiedrager in verschillende toepassingen ingezet kan worden, onder andere als brandstof voor elektriciteitscentrales, in industrie (hoge temperatuur warmte) en bij mobiliteit voor zwaar transport zoals scheepvaart. Delen van de keten zijn al op diverse schalen ontwikkeld. IJzerpoeder producenten hebben nagenoeg volledige conversie (>96%) van ijzer oxide naar ijzer behaald (e.g. Circored, MIDREX, HYL III). In andere trajecten is al stabiele ijzerverbranding op >100 kW schaal gedemonstreerd. Voor doorontwikkeling moet nog optimalisatie van branderontwerp en warmte-conversiesysteem worden uitgevoerd. Ontwikkeling van een compleet systeem voor energetisch gebruik van ijzer is de volgende stap, waarin recycling van ijzer plaats vindt door koppeling van oxidatie en reductie stappen. Dit vereist een aantal fundamentele onderzoeksstappen die zal leiden tot een complete pilot voor 2030.

Het zal niet bij deze innovatieopgaven blijven: er zijn nu al andere, kleinere opgaven, en er komen er nog bij. Bovendien is er behoefte aan samenwerking met andere sectoren, en aan ontwikkeling van menselijk kapitaal. Om de bestaande en toekomstige opgaven adequaat te adresseren is het essentieel dat er een sterk ecosysteem ontstaat waarin verschillende technische competenties, opbouw van deskundigheid, financiering, opschaalfaciliteiten, etc. beschikbaar komen. Veel elementen daarvan zijn al deels aanwezig op universiteiten en innovatiecampussen maar ze zijn verre van compleet en versnipperd, de hoofdpogave bestaat uit het adequaat financieren en het effectief completeren, concentreren en optimaliseren van de inspanningen. Hier ligt een kans voor Nederland, want zo'n ecosysteem bestaat eigenlijk nergens. Er zijn geen fundamentele problemen om dit te realiseren, maar er zijn wel kapers op de kust (Gent, Karlsruhe) en in Nederland bestaat risico op versnippering vanwege gebrek aan afstemming van initiatieven vanuit provincies en gemeenten. De innovatieopgave van Innovatiebooster heeft als doel meer, sneller en effectiever potentiële, radicale procesvernieuwing te identificeren en te versnellen.

De fasering en financiering van de opgaven is in onderstaande tabel samengevat (alle bedragen in Euro, CPX is kapitaalsinvestering, OPX staat voor operationele uitgaven)

### **MVI aspecten van radicale procesvernieuwing**

De volgende activiteiten zijn geprogrammeerd:

- Publieke partijen zoals overheden en netbeheerders ontwikkelen samen een tendersystematiek waarin zij samenwerken om radicaal vernieuwende bedrijven te belonen met: aansluiting op energie-infra, langdurige aanspraak op milieuruimte en een fysieke plek.
- Analyse van het innovatiesysteem (bijvoorbeeld methode TIS en/of Market Transformation).
- Nadere verkenning van concrete voorbeelden en hoe die wel of niet werken.

Tabel 10 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.4: (Radicaal) vernieuwde processen

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering Geschikt instrument
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	
<b>8.4a: Piloting en opschaling Hisarna voor ijzerproductie</b>	Hisarna met CCS klaar voor industriële toepassing. 49% emissie reductie t.o.v. benchmark	Duurtesten Hisarna Pilot voor CCS - Engineering, Bouw Pilot en Operatie	2020-2023				↔	↔		SKT SCA SOP
		Opschaling CCS Unit voor Hisarna pilot		2022-2026				↔		SCA
	Hisarna Pilot testen voor intrinsieke verlaging van CO <sub>2</sub> emissie bij staal maken.  Klaar voor industriële toepassing inclusief CCS: 2030: -25%CO <sub>2</sub> t.o.v. benchmark	Aardgas ipv kolen BOS-gas ipv aardgas Biomassa ipv kolen	2020-2023					↔		SKT
		Engineering /design study	2021-2024					↔		SCA
	Opschaling Hisarna naar Demo plant (1Mton) voor 2030, geïntegreerd in de site. CCS als voorwaarde voor CO <sub>2</sub> reductie	Bouw demo + CCS ( <i>gepland voor 2026-2018</i> )						↔		SCA SOP
		Pre-engineering	2020-2023					↔		SCA
<b>8.4b: IJzerproductie via E-oven (Continu-EAF)</b>	CO <sub>2</sub> emissie reductie door verhogen van de schrotinzet als bron van ruwijzer. Operationele plant in 2030.	Onderzoek invloed op product	2020-2023				↔		SKT	
		Effectief schrot sorteren	2020-2023				↔		SKT	

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
8.4c: Alternatieve technologieën voor watervrij papier proces	Minstens 1 fabriek in Nederland verdampt geen water meer in 2030	Ontwikkeling technologieën en chemicaliën voor bladformatie, binding, en eigenschappen	2020-2023			↔	↔			SKF
		Realisatie pilot voor basistechnologie bladformatie en binding.		2022-2026			↔	↔		SKT/SCA

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering	
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument	
<b>8.4d: Ontwikkeling en piloting voor elektrificatie van hoge temperatuur fornuizen, o.a. voor productie van olefinen en aromaten</b>	Representatieve grootschalige pilot unit voor thermo-elektrisch kraken operationeel vanaf 2024.	Concept ontwikkeling, screening, techno-economische en duurzaamheidsanalyse, selectie van technologie opties	2020-2021			↔	↔			SKT/SKS	
	In 2030 klaar voor eerste demo installatie voor kraken op volle commerciële schaal.	Bench scale performance analyse proof-of-concept	2020-2023			↔	↔			SKT	
	Verbreding elektrificatie van hoge-temperatuur verwarming van thermo-chemische processen.	Verbreding toepassing van kraken naar andere hoge-temperatuur chemische conversieprocessen		2022-2024			↔	↔			SKT
		Conceptual design, detailed design en engineering pilot		2022-2024				↔			SKT/SCA
		Bouw en opstart pilot (0,1 - 1 MW schaal)		2023 - 2026				↔			SKT/SCA
		Uitvoering experimenteel programma		2023-2026				↔			SKT/SCA/SOP
<b>8.4e: Elektrificatie hoge temperatuur fornuizen – opschaling en</b>	Full-scale demonstratie unit voor thermo-elektrisch kraken operationeel vanaf	Conceptual design en integratie aanpak full-scale demonstratie unit thermo-			2025-2027			↔		SCA	



Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering Geschikt instrument
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	
<b>demonstratie elektrificatie hoge temperatuur fornuizen, o.a. voor productie van olefinen en aromaten</b>	2028. Operationele duurproeven tijdens volle onderhouds- en investeringscyclus aangetoond.  Vanaf 2030 uitrol naar commerciële installaties binnen de onderhouds- en investeringscyclus  In 2050 kan 90% van de fornuizen vervangen zijn door elektrische	elektrisch kraken (10 – 40 MW schaal)								
		Detailed design en engineering demo <i>(gepland voor 2026-2027)</i>						↔		
		Bouw en opstart <i>(gepland voor 2027-2029)</i>						↔		
		Operationele duurproeven demonstratie <i>(gepland voor 2030-2035)</i>						↔		
		Ontwikkeling aanpak industriebrede uitrol en aanbod commercieel product <i>(gepland voor 2030-2035)</i>						↔		
<b>8.4f: Power-to-Fe (Metal fuels) als hernieuwbare energiedrager</b>	2030: Demonstratie van metaalpoeder als energie drager op relevantie industriële schaal  2050: Internationale beschikbaarheid van kostefficiënt Power-to-Fe systeem	Optimaal en kosten efficiënt metaalpoederproductie en regeneratie (Power-to-Fe)	2020 – 2022			↔				SKF SKT
		Stabiel Fe-to-power systeem en hoge temperatuur poeder scheidingsysteem	2020 – 2022			↔				SKF SKT
		Pilotsysteem Power-to-Fe-to-Power op MW schaal		2023 - 2028			↔			SKT

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
<b>8.4g: Innovatie-booster - bottom-up vinden en versnellen van radicale of nieuwe ideeën</b>	Ecosysteem en praktijk voor radicale proces vernieuwing in full swing in 2022. In 2030 minstens 2 concepten in TRL 9.	<p>Organiseren van 'uitvinders' ecosysteem voor procestechologie – verbinden van potentieel van jonge afgestudeerden, start-ups, ondernemers en bestaande netwerk van maakindustrie en procesindustrie.</p> <p>Ontwikkelen van portfolio van projecten met nieuwe ideeën en op basis van unshelving bestaande ideeën en technologische concepten.</p> <p>Vrijdagmiddag-experimenten – snelle kortlopende testen en projecten van max 3 maanden om een eerste idee te kunnen toetsen</p>				↔	↔			SKT
<b>8.4h: MVI aspecten rondom radicale vernieuwing</b>	Instrument beschikbaar dat radicale vernieuwing industrie met maatschappelijke meerwaarde stimuleert	Faciliteren leerproces							↔	SKS
		Inventariseren bestaande kennis en ervaring							↔	SKS

Tabel 11 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.4: (Radicaal) vernieuwde processen

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<b>8.4a: Piloting en opschaling Hisarna voor ijzerproductie</b>	Hoog	Hisarna is een innovatief proces ter vervanging van hoogoven technologie. Het realiseert 20% CO2 emissie reductie en maakt verhoogde inzet van alternatieve koolstofbronnen en restmetaalstromen mogelijk. Het is zeer geschikt voor CCS, wat een harde randvoorwaarde is voor potentieel 100% CO2 emissie reductie. Het proces is met steun van de Europese staalsector tot pilot schaal gebracht en er is duidelijk eigenaarschap bij Tatasteel. De kenniswaardeketen voor opschaling en ontwikkeling is in NL goed geborgd en de slaagkans voor de innovatie is groot.
<b>8.4b: IJzerproductie via E-oven (Continu-EAF)</b>	Hoog	Door inzet van elektrische ovens vergroot het aandeel inzet van schrot en gerecycled metaal in de product mix. Dit leidt direct tot CO2 emissie reductie door vermeden hoogoven inzet. Belang is wel behoud van metaalkwaliteit, wat bijvoorbeeld meer vraagt van schrot sortering. Eigenaarschap van deze stap is hoog, de waardeketen rond gerecycled metaal is voor een groot deel ontwikkeld maar betrokkenheid in het (innovatie) traject tot verhoogde sortering en kwaliteitsbehoud door de keten staat te ontwikkelen. Er is ruim kennis aanwezig en de slaagkans kan als gemiddeld tot hoog ingeschat worden.
<b>8.4 c Alternatieve technologieën voor watervrij papier proces</b>	Hoog	Impact op CO2 emissie reductie is voor de toepassing hoog, de innovatie leidt tot 70% emissie reductie voor een papier producent. De papiersector in Nederland is goed georganiseerd en neemt eigenaarschap over het innovatietraject. Een grote uitdaging is de aanwezigheid van de waardeketen. Grote leveranciers van papier fabrieken bevinden zich buiten Nederland, zijn met oplossingsroutes bezig. Verbinding in het innovatietraject tussen eindgebruikers en systeem integrators moet versterkt worden, betrokkenheid van de NL maaksector ontwikkeld en georganiseerd. Commitment van de eindgebruikers is groot omdat het watervrije proces goedkoper is dan conventionele processen en noodzaak groot is. Leidt wel tot vervanging van bestaande assets, bottleneck voor de slaagkans zal de kosten van vervanging zijn.

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
<b>8.4d: Ontwikkeling en piloting voor elektrificatie van hoge temperatuur fornuizen, o.a. voor productie van olefinen en aromaten</b>	Hoog	Elektrificatie van hoge temperatuur fornuizen gaat om gigawatt schaal energie verbruik en megatonnen CO2 emissie. Volle schaal implementatie zorgt voor grofweg 30% energie besparing en alleen voor de gezamenlijke olefinen productie al voor 5 Mton CO2 reductie. De operators van hoge temperatuur fornuizen zijn actief het domein aan het verkennen en maken zich sterk voor doorontwikkeling. Nederland heeft een sterke technologie sector voor grootschalige procestechologie, met systeem integrators, materiaal leveranciers, ingenieursbureaus voor proces en elektrotechnologie, er is een sterke technologische kennisbasis en er is grote export potentie met wereldwijde spelers als eindgebruikers en in de keten. De slagingskans is daarom groot van deze ontwikkeling, al is deze enigszins afhankelijk van de ontwikkelingen in de elektriciteitssector.
<b>8.4e: Elektrificatie hoge temperatuur fornuizen – opschaling en demonstratie elektrificatie hoge temperatuur fornuizen, o.a. voor productie van olefinen en aromaten</b>	Hoog	Gelijk aan analyse van programma deel 8.4 d.
<b>8.4f: Power-to-Fe (Metal fuels) als hernieuwbare energiedrager</b>	Midden	Power-to-Fe speelt een rol in grootschalige energie opslag, die duurzame energie kan opslaan en helpen transporteerbaar te maken. Daarmee biedt het een mogelijkheid om de inzet van groene stroom in de elektriciteitssector te versterken. Dit heeft mogelijk impact op CO2 emissiereductie in de energie sector maar zal daarmee moeten concurreren met andere opslagvormen en import vormen. Het gaat om een compleet nieuwe optie, waardoor er wel belangstelling is uit de elektriciteitssector maar nog geen eigenaarschap. De toegepaste technologie gaat om gebruik van bestaande technologische routes in combinatie met nieuwe technologie die nog voor een deel ontwikkeld moet worden waardoor de keten deels aanwezig is en deels nog gevormd moet worden. Het traject is vrij complex en daardoor risicovol, en de slagingskans is daardoor gemiddeld tot laag.
<b>8.4g: Innovatie-booster - bottom-up vinden en versnellen van radicale of nieuwe ideeën</b>	Midden	Technologie scouting en verkennen van nieuwe proces concepten en technologieën kan potentieel een hoge impact op CO2 gebruik hebben. De route van idee naar introductie en toepassing heeft in de proces industrie een lang meerjaren traject te doorlopen. Voor versterking en verbinding van het innovatie ecosysteem voor verduurzaming van de proces industrie kan dit een belangrijke bijdrage leveren.
<b>8.4h: MVI aspecten rondom radicale vernieuwing</b>	Hoog	Maatschappelijke acceptatie is randvoorwaarde voor nieuwe technologische oplossingsroutes als Hisarna en Elektrificatie van fornuizen. Zichtbaar maken en sturen op maatschappelijke meerwaarde van een duurzame industrie met grote innovatiekracht in Nederland. Verbinden van maatschappelijke doelstellingen aan innovatie trajecten en opschalingstrajecten.

## 7.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

De industrie (en zeker de staal-, chemische en papierindustrie) concurreert op wereldschaal. Dat betekent dat de industrie in Nederland of Europa niet kan en zal bewegen als er geen vorm van bescherming is tegen grensoverschrijdende concurrentie. Een schaal kleiner dan Europa is eigenlijk zonder betekenis. Binnen de gekozen geografie moet het speelveld gelijk zijn, zonder nationale varianten. En tenslotte is duidelijkheid en consistentie van de taakstelling essentieel. Dat betekent dat zowel de overheid als de industrie (nationaal en Europees niveau) essentiële stakeholders zijn voor de innovatieopgave die we hier definiëren.

Binnen de genoemde industrieën gaat het vaak om een stuk of 10 relevante spelers. De mate van industriële betrokkenheid en leiderschap in Nederland varieert. Middels deelname door industriële partners in een pre-competitieve opzet moet het wel mogelijk zijn daarvoor een aanzienlijke bijdrage van de industrie te verkrijgen. Hierbij moet worden gekeken of deze innovaties het meest effectief op regionaal of nationaal niveau kunnen worden opgepakt of multinationalaal of Europees niveau om kosten en inzichten te kunnen delen. Een voorbeeld daarvan vloeit voort uit een opdracht van de ministeries van Economische Zaken van Nederland, Vlaanderen en Nordrhein-Westfalen voor de ontwikkeling van een Trilaterale Strategie voor de Chemische Industrie, waarin nu wordt gewerkt aan consortiumvorming rond radicale vernieuwing, o.a. elektrisch kraken en waterstofproductie.

## 7.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Voor radicale procesvernieuwing zijn de omgevingsfactoren vaak proces- en bedrijfs-specifiek. Voor de zware processen, Hisarna of elektrificatie van kraak-processen, zal de ombouw zeer verrijkende gevolgen hebben. De operatie en organisatie van een industriële site is volledige geoptimaliseerd naar de werking van de bestaande assets. Wanneer deze wezenlijk veranderen zullen energie en massastromen compleet wijzigen. Dit vraagt om zeer zorgvuldige planning van de transitie. Bij introductie van Hisarna zal de bestaande cokes productie vervangen worden door introductie van poederkolen, inzet van schroot en reststromen wijzigt, schaalgrootte van de asset is wezenlijk anders en de samenhang met downstream processen zal anders gaan verlopen. Iets dergelijks speelt ook bij elektrificatie van kraakprocessen. Hierdoor zal de warmte huishouding veranderen (door 30% minder productie van restwarmte) en restgassen die nu als brandstof ingezet worden moeten op andere manieren ingezet gaan worden, bij voorkeur als grondstof voor producten met een langdurige koolstof cyclus. De ombouw en transformatie van sites die een dergelijke complete transitie ondergaan vergt zeer zorgvuldige planning. Integratie in de omgeving behelst veel ecologische, milieu en veiligheidsaspecten. Daarnaast zal opleiding en omscholing van de procesoperators en ondersteunende diensten een belangrijk MVI en HCA aspect zijn dat meegenomen moet worden.

De interacties met maatschappij, ecologische en economische omgeving en instituten zijn beperkt daar waar het de ontwikkeling en opschaling van radicaal nieuwe technologie betreft. De belangrijkste directe interactie verloopt via de randvoorwaarden, met name het beschikbaar maken van zeer veel hernieuwbare elektrische energie en het daarmee gemoeide ruimtebeslag en de infrastructuur.

Het is tenslotte denkbaar dat uiteindelijk bepaalde processen niet meer in Nederland concurrerend kunnen worden bedreven, met name als elders hernieuwbare elektriciteit veel goedkoper wordt (wat in Nederland onwaarschijnlijk is gezien de beperkte realiseerbare capaciteit).

## 8 Deelprogramma 5: Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

### 8.1 Programmatische aanpak

Veel facetten van het complexe, duurzame energiesysteem zijn terug te vinden in dit MMIP: duurzame opwek (innovatieve hernieuwbare brandstoffen), opslag (waterstof en moleculen), gebruik (elektrificatie van processen), energie-infra (een implicatie van industriële elektrificatie kan zijn dat netverzwaring nodig is) en digitalisering (voor energiebesparing en flexibilisering). Het is daarom nodig om regelmatig uit te zoomen en naar de gevolgen voor het geheel te kijken. De programmatische aanpak richt zich in eerste instantie op de impact van elektrificatie en in tweede instantie op niet-technische barrières die procesvernieuwing in de industrie in de weg staan.

Sommige specifieke onderdelen zijn in de verschillende deelprogramma's geprogrammeerd. Deze houden verband met de specifieke technische onderwerpen in deze deelprogramma's. Daarnaast zijn er breder overbruggende maatschappelijke vraagstukken. Deze worden in dit deelprogramma uitgewerkt.

#### **Elektrificatie van de industrie, grootschalige waterstof productie en elektrochemie**

Onder de transitie van fossiele naar man-made energie bronnen zal met de groei van duurzame opwek en daaropvolgende elektrificatie van de industrie een omslag in onze maatschappij plaatsvinden die niet eerder is vertoond. De kern van ons economisch stelsel gaat veranderen, wat in de basis een groot aantal MVI aspecten raakt:

- Industriële elektrificatie stelt eisen aan de energie-infrastructuur met directe maatschappelijke gevolgen, zoals: maatschappelijk kosten voor verzwaring, impact op het landschap, keuzes wie (als eerste) toegang krijgt. Beschikbaarheid van voldoende hernieuwbare elektriciteit en aanwezige infrastructuur zijn randvoorwaardelijk aan elektrificatie van de industrie. Bij het ontwikkelen van modellen die investeringsbeslissingen voor energie-infrastructuur ondersteunen, is het van belang de maatschappelijke belangen daarin in te bedden. Naar verwachting leidt dit tot modellen die de voor de investeringsbeslissing relevante aspecten beter in beeld brengen.
- In Nederland zal vrijwel zeker onvoldoende eigen opwek van duurzame energie plaatsvinden voor het bedrijven van alle huidige sectoren. Naast eigen opwek en waterstof productie zal import, doorvoer en verdeling van groene energiedragers over de gebruikers in Nederland een belangrijke rol gaan spelen. De belangrijkste vraag is hoe deze verdeling plaats gaat vinden en hoe behoud van welvaart – essentieel voor draagvlak onder de transitie - voor de hele maatschappij geborgd is. Wie profiteert van de productie, wie krijgt toegang tot deze energie (industrie, mobiliteit of gebouwde omgeving) tegen welke kosten? Hoe komen we tot faire en betaalbare duurzame energie voor de hele economie, op welk kostenniveau zal dit terechtkomen en welke transformatie zal de economie ondergaan?
- De verdelingsvraagstukken hebben ook een grote geopolitieke context. Energie is politiek en voor import en export van duurzame energiedragers zal dit niet wezenlijk anders zijn. Hoe gaan huidige spelers zich verhouden tot nieuwe spelers op de markt? Welke regio's kunnen profiteren en welke blijven achter? En hoe raakt dit de energievoorziening en de transitie in NL? En in afgeleide, welke geopolitieke context ontstaat er voor de materialen (bv. voor katalysatoren) die nodig zijn om de transitie uit te kunnen voeren?
- Andere MVI aspecten van opschaling en uitrol van waterstof productie en gebruik zijn veiligheid (in productie en toepassing) en milieu, ecologische en landschapsaspecten (ruimtebeslag van conversie, transport-infrastructuur en opslag, bijv. onder de Noordzee). Het is van belang om met een multidisciplinaire aanpak te zodat en circulaire en safe-by-design concepten worden toegepast bij de opschaling en uitrol zodat de maatschappelijke gevolgen in de hele keten worden onderzocht.
- Door opschaling en uitrol van nieuwe type processen zoals water elektrolyse zal er ook een milieu impact ontstaan op de (veelal) zeldzame metalen die nodig zijn als katalysator, elektrodemateriaal,

leidingen en kabels, etc. Winning en extractie van deze materialen heeft grote milieu impact. Hoe komen we op duurzame manier tot schaalgrootte? En wat voor verdelingsvraagstukken spelen er op mondiale schaal voor toegang tot deze belangrijke materialen? Dit vraagt om keten analyse en life cycle assessment in de context van uitrol en schaalvergroting.

### **MVI aspecten van (radicale) proces vernieuwing**

Naast elektrificatie is proces vernieuwing de tweede belangrijke pijler die essentieel is voor een duurzame industrie. De belangrijkste innovatievragen hiervoor zijn de volgende:

- Veel procesvernieuwing vraagt om toepassing van technologie die al bestaat. Of het nou gaat om eenvoudige toepassing van isolatiematerialen of om complexe ombouw van grootschalige processen van fossiele naar duurzame energiebronnen, in essentie zijn veel systemen en oplossingen al bekend. Ze worden vaak niet toegepast omdat er gebrek aan kennis van de mogelijkheden is over wat er al kan, omdat economische parameters minder gunstig zijn waardoor oplossingen niet geprioriteerd worden, of omdat bij keuze van technologie duurzaamheid niet meegewogen wordt. Initiatieven zoals project project 625 die kennisverspreiding, besluitvorming en financiering in samenhang proberen te verbeteren zullen een belangrijke bijdrage kunnen geven. Hoe deze het beste uit rollen en te verbreden, en monitoring over de effectiviteit en verbetering deze aanpakken zal een belangrijke bijdrage leveren.
- Naast kennis deling is het van belang incentives mee te geven die breder gaan dan directe economische parameters. Hoe kun je nu al voorsorteren op radicale vernieuwing van de industrie die klimaatneutraal in 2050 mogelijk maakt? Hoe stimuleer je concurrentie op maatschappelijke meerwaarde, waarbij klimaatneutraal geen voordeel maar randvoorwaarde is? Incentives voor de bedrijven kunnen zijn: license to operate, ontwikkelen aanbod toeleveranciers, concrete opdrachten (voorbeeld de ontwikkelfase). *Hoe komen we tot een herhaalbare procesaanpak die sturing vanuit de overheid op radicale vernieuwing en inbedden van maatschappelijke waarden mogelijk maakt?*
- Een laatste belangrijk aspect is dat door elektrificatie en door samenwerking via industriële symbiose en voortschrijdende circulariteit ketens steeds meer met elkaar verbonden raken. Ontwikkeling van regionale netwerken is daardoor steeds meer een resultaat van complexe multi-stakeholder besluitvorming. Daarbij zijn regionaal gevestigde industrie en energiebedrijven, infrastructuur operators en overheden samen en in samenhang verantwoordelijk voor het uitvoeren van de transitie. De vraag is hoe regionale ontwikkelingen aangestuurd kunnen worden vanuit collectieve strategie ontwikkeling. Hoe afstemming en besluitvorming voor collectieve progressie naar een duurzaam energiesysteem balans kan vinden tussen individuele besluitvorming bij bedrijven en lokaal bij regionale overheden. Een belangrijke vraag is daarbij hoe lokale optimalisatie hand-in-hand gaat met belang van grote bedrijven die mondiale optimalisatie nastreven en toch tegelijkertijd verantwoordelijkheid nemen voor de lokale transitie.

Tabel 12 Concretisering innovatieopgaves deelprogramma 8.5: Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering Geschikt instrument	
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x		
MVI aspecten van Elektrificatie											
<b>8.5a Acceptatie, draagvlak, inclusiviteit en ecologie van industriële elektrificatie</b>	Knelpunten bekend in het innovatiesysteem	Innovatie Systeemfunctie, structuur en probleem analyse electrochemie systeem waterstof systeem	2020 2022							↔	SKS
	Interventies bekend	Interdisciplinair onderzoek naar gedrag en gedragsverandering tbv transitie tbv waterstof transitie te stimuleren gericht op industrie en participatie met maatschappij	2020 2024				↔				SKF
	Juridische mogelijkheden tav governance en succesvolle symbiose voor Nederlandse situatie bekend	Inventarisatie mogelijke juridische structuren en methoden om privaat-privaat en privaat-publiek samenwerking te ondersteunen en IP en ownership aspecten te borgen.	2020 2022							↔	SKS
	Verbreed draagvlak en verhoogde succesfactoren	Opdoen kennis en inzichten over de maatschappelijke aspecten van de regionale energie transitie en deze te implementeren in beleid en praktijk.	2020 2024							↔	SKF
		Onderzoek aanpak Democratiseringsvraagstuk beschikbaarheid energie binnen veranderende energiemix	2020 2024				↔				SKF
		Inventarisatie best practices van participatieaanpakken zoals Social Labs, Human Centered Design Ontwerpend Onderzoeken, Design Thinking, Labs, Theory-U of een Future Search en opstellen van	2020 2022							↔	SKF



Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		designparameters voor participatieopzet.								
		Ruimte voor initiatieven voor het aansluiten van gehele regio's en bevorderen van het reguleren door kennisinstellingen en bedrijven samen	2020 2027						↔	SKT
		Social lab activiteiten uitvoeren tbv waterstof	2020 2027						↔	SKT
		Coördinatie en support van MVI activiteiten voor industriële innovatieopgaven	2020 2027						↔	SKT
<b>8.5b: Elektrificatie en infrastructuur</b>	Maatschappelijke aspecten meenemen in besluitvorming infra	Maatschappelijke aspecten verwerken in relevante modellen	2020-2023					↔		
MVI aspecten van (radicale) proces vernieuwing										
<b>8.5c Verbreding toepassing efficiënte elektrische aandrijvingen</b>	Bij ontwerp en uitvoering van elektrisch aangedreven (mechanische) processen (oa pompen, compressoren, transport- systemen, etc.) wordt in 2030 syteem-efficiency bepalend en total-cost-of-ownership maatvoerend.	Eerste fase - Kennis opbouw en kennis ontsluiting voor keuzevorming bij ontwerp van elektrische aandrijfsystemen in engineering en onderhoudsvraagstukken. Kennis overdracht en sturing op prioriteren energie-efficiënte systemen bij inkoopproces	2020-2024					↔	↔	SKS

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL				Financiering
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	x	Geschikt instrument
		Eerste fase - Demonstratie van toepassing van laatste state-of-the-art elektromotor technologie en systeem-optimale technologische keuzes, aantonen besparingspotentieel in diverse industriële toepassingen – verbonden met project 625.	2020-2024					↔	↔	SKS/SKT
		Analyse en evaluatie eerste fase en go/nogo besluit		2024					↔	
8.5d: Milieu-aspecten van materiaal gebruik	LCA-analyses incl maatschappelijke aspecten	Onderzoek	2020-2024						↔	SKS/SKT

Tabel 13 Prioriteiten toelichting en analyse voor innovatieopgaves deelprogramma 8.5: Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

Innovatieopgaven	Conclusie prioritering	Toelichting
8.5a Acceptatie, draagvlak, inclusiviteit en ecologie van industriële elektrificatie	Hoog	Bij de transformatie van het energie en industrie systeem is gevoel voor urgentie en begrip van het belang van een innovatief industrie-gericht ecosysteem van hoge prioriteit om draagvlak bij alle partijen van het platina vierkant te borgen, zowel maatschappelijk en politiek als academisch en niet in de laatste plaats binnen de industrie zelf. Omdat begrip, acceptatie, eigenaarschap en leiderschap randvoorwaarden voor succes van de transitie zijn heeft deze innovatie opgaven een hoge prioriteit.
8.5b: Elektrificatie en infrastructuur	Hoog	De basis voor de transitie wordt gevormd door een coherente ontwikkeling van de onderliggende infrastructuur. De balans tussen elektrische, gas en overige infrastructuur is de basale randvoorwaarde voor de industrie om een transitie überhaupt uit te kunnen voeren. Een continue dialoog, delen van kennis en inzichten en begrip van noodzaak van timing in investeringen is essentieel voor de transitie.
8.5c Verbreding toepassing efficiënte elektrische aandrijvingen	Hoog	Deze opgave is illustratief voor het breed toegepast krijgen van geoptimaliseerde technologische systemen waar beschikbare kennis de randvoorwaarde vormt. Verbinden van nieuwe kennis met

Innovatieopgaven	<i>Conclusie prioritering</i>	<i>Toelichting</i>
		systeem integratoren, proces technologen en andere ingenieurs is van groot belang om doorlopend voortgang te boeken bij de ontwikkeling en implementatie van efficiënte systemen.
<b>8.5d: Milieu-aspecten van materiaal gebruik</b>	Hoog	Transitie leidt tot grootschalige uitrol van nieuwe technologie. Beschikbaarheid van materialen voor die technologie is belangrijk, milieu impact van winning en toepassing van materialen kan leiden tot schaarste en ongewenste milieu effecten. Bewuste keuzes maken in de ontwerpfase is van groot belang om de energie transitie binnen de grenzen van het aardse systeem te kunnen volbrengen.

## 8.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

De MVI aspecten die bij de uitdagingen van MMIP8 horen zijn zeer divers van aard. Daarnaast zijn er generieke hogerliggende MVI aspecten die zich met name richten op de economische en maatschappelijke aspecten (economische transitie, betaalbaarheid, toegang, rechtvaardigheid) en zijn er specifieke aspecten (bv. keuze en besluitvorming binnen bedrijven voor duurzame technologie, acceptatie van technologie bij operators, etc). In ieder innovatie traject waar technologische ontwikkeling plaats vindt kan deze ook vanuit MVI aspecten onderzocht worden. De MVI kant vraagt wel om betrokkenheid van specialisten met een andere achtergrond. De kunst zal erin bestaan om op zinnige wijze in de context van deelprogramma's deze MVI aspecten sterk genoeg neer te zetten om een rol van wezenlijk belang te kunnen spelen en een serieuze dialoog te kunnen voeren met de technologie ontwikkelaars.

## 8.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Voor MVI aspecten zijn omgevingsfactoren altijd volgend uit de applicatie. Het is van belang om vanuit MVI oogpunt met name te kijken naar omgevingsfactoren waar vanuit technologisch oogpunt minder snel aandacht voor is. Bijvoorbeeld het belang van omwonenden bij de uitrol van waterstof infrastructuur of verregaande elektrificatie van de industrie waarbij een maatschappelijke afweging moet worden gemaakt hoe elektriciteit verdeeld kan worden over industrie en omwonenden waarbij alle belangen en alternatieven meegewogen worden.