

# MMIP7: Een CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem



16/09/2019

Met bijdragen van:

Annita Westenbroek (ISPT/VNP)  
Kees Biesheuvel (Dow)  
Louk Severens (RVO)  
Marten Harmelink (EZK)  
David Smeulders (TU/e)  
Gerrit Brem (UTwente)  
Jaap Vente (TNO)  
Aaldrik Haijer (Water and Energy Solutions)  
Anton Wemmers (TNO)  
Maurice Hanegraaf (TNO)  
Jorien Schaaf (EBN)  
Jim Kok (UTwente)  
Rob Kreiter (TKI Energie en Industrie)

Ondersteuning:  
Kajan Kort (Navigant)

## Inhoudsopgave

1.	Samenvatting.....	4
1.1	De bijdrage van het MMIP aan de missie .....	4
1.2	Een korte beschrijving van de deelprogramma's.....	5
1.3	De samenhang van de deelprogramma's .....	6
2.	Missie C voor Industrie.....	7
2.1	Achtergrond.....	7
2.2	Visie .....	9
2.3	Samenhang tussen de MMIP's.....	9
2.4	Missie C en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren.....	14
2.5	Missie C en HCA .....	15
2.6	Missie C en Digitalisering .....	16
2.7	Randvoorwaarden.....	18
2.8	Samenwerking en afstemming .....	19
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.	MMIP7: Een 100% CO <sub>2</sub> -vrij industrieel warmtesysteem.....	29
3.1	Inleiding .....	29
3.2	Samenhang van de deelprogramma's binnen het MMIP.....	30
3.3	Stand van zaken/overzicht .....	31
3.4	Valorisatie en marktcreatie.....	34
3.5	Samenwerking en samenhang andere MMIP's.....	35
4.	Deelprogramma 1: Maximalisering van proces-efficiency .....	35
4.1	Programmatische aanpak .....	35
4.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	42
4.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	42
4.4	Financiering .....	42
5.	Deelprogramma 2: Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag .....	43
5.1	Programmatische aanpak .....	43
5.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	49
5.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	49
5.4	Financiering .....	49
6.	Deelprogramma 3: Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie.....	50
6.1	Programmatische aanpak .....	50
6.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	53

6.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	53
6.4	Financiering .....	53
7.	Deelprogramma 4: Toepassing klimaatneutrale brandstoffen .....	54
7.1	Programmatische aanpak .....	54
7.2	Stakeholders/actoren – samenwerking.....	57
7.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	57
7.4	Financiering .....	57
8.	Deelprogramma 5: Systeemconcepten voor warmte en koude .....	58
8.1	Programmatische aanpak .....	58
8.2	Stakeholders/actoren - samenwerking.....	61
8.3	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren .....	61
8.4	Financiering .....	61

## 1. Samenvatting

MMIP 7 omvat 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.

MMIP 7 valt onder Missie C: *In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80 procent circulair.*

Onder Missie C zijn de volgende tussendoelen opgesteld:

In 2030 worden in Nederland 50 procent minder primaire grondstoffen verbruikt en zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en 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 bio-grondstoffen worden gezien als de standaard.

### 1.1 De bijdrage van het MMIP aan de missie

Deze missie betreft zowel de procesindustrie met hoge-temperatuur processen en warmteoverschot, als de kleinere relevante energiegebruikers 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. Vanwege de omvang van de CO<sub>2</sub>-emissies in de vijf clusters (ca. 60% van de industriële uitstoot) wordt een groot deel van de inzet in dit MMIP daarop gericht. Tegelijk wordt ingezet op de innovatiekracht van de kleinere industriegebieden, omdat juist daar vaak de innovatieve maakindustrie te vinden is. Met deze aanpak worden de industrie MMIP's 6, 7 en 8 in lijn gebracht met het klimaatakkoord.<sup>1</sup>

MMIP7 draagt bij aan de missie door de vermindering van de broeikasgasemissies van het warmtesysteem. Dit wordt bereikt door de ontwikkeling en implementatie van energie-efficiënte processen en van het gebruik van duurzame warmtebronnen. Daardoor kan de warmtevraag drastisch gereduceerd worden en de resterende vraag duurzaam worden ingevuld. Het tussendoel voor 2030 is de volledige verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C, met name via efficiency en hergebruik en opslag van warmte, en via uitrol van ultradiepe geothermie. Voor de huidige en toekomstige hoge temperatuur processen zijn innovaties rond de inzet van hernieuwbare brandstoffen en rond elektrificatie van warmte van belang. Cascadering van warmte tot lagere temperaturen blijft ook bij inzet van elektrisch gedreven processen en hernieuwbare brandstoffen relevant. De temperaturen en de volumes van de warmtestromen zullen wel veranderen. Daarom is

<sup>1</sup> Zie klimaatakkoord.nl

een integrale benadering van het warmtevraagstuk op verschillende systeemniveaus en in samenhang met ontwikkelingen buiten het warmtesysteem noodzakelijk.

De innovaties worden in nauwe samenhang met MMIP 6 en 8 ontwikkeld. Veranderingen in de grondstofstromen hebben potentieel ook invloed op de warmtevraag (MMIP 6). Daarnaast kan vervanging van huidige hoge temperatuur processen door direct elektrisch gedreven processen grote invloed hebben op de warmtebalans van industriecomplexen (interactie met MMIP 8). Daarnaast zal warmtehergebruik op hogere temperaturen de primaire energievraag op hoge temperatuur verlagen. De resterende warmtebehoefte zal moeten worden ingevuld door klimaatneutrale brandstoffen en door elektrisch verwarmen. Hierdoor worden er grote stappen gemaakt in het klimaatneutraal maken van de industrie.

Naast technologische raakvlakken is er sterke interactie tussen het industriële warmtesysteem en de (toekomstige) warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en mogelijk ook glastuinbouw. MMIP 13 omvat een deel van deze interactie. Daarnaast spelen logistieke vraagstukken rond de warmte-infrastructuur, bijvoorbeeld rond remote monitoring en predictive maintenance, nieuwe business- en servicemodellen (servitization), data-analyses voor control en planning in de keten, bij elkaar brengen van vraag en aanbod, en het vergroten van flexibiliteit en resilience in de infrastructuur. Dit lijkt erg op vraagstukken die door de Topsector Dinalog nu worden opgepakt met maakbedrijven en infrabeheerders met name voor de transportsector. In MMIP 7 zal verder verkend worden hoe deze cross-over vorm kan krijgen.

## 1.2 Een korte beschrijving van de deelprogramma's

### 7.1. Maximalisering van proces-efficiency

Proces efficiency op het niveau van unit operations is een belangrijk ingrediënt omdat hiermee de totale warmtebehoefte wordt verminderd. In dit deelprogramma zijn efficiënte scheidings- en droogprocessen en slimme processen met diverse sensoren en sturing met slimme algoritmes de belangrijkste onderdelen.

### 7.2. Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag

Dit deelprogramma is gericht op innovaties die nuttig (her)gebruik van warmte in industriële processen verhogen. Daarvoor zijn warmtepompen en -transformatoren, warmteopslag en integratie van processtappen die warmte gebruiken essentieel. Implementatie van deze opties vereist ook een systeem perspectief op industriële warmtesystemen tot het niveau van industrieclusters (lijn 7.5.).

### 7.3. Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie

Warmteopwekking voor industriële processen is tot ca. 200 °C mogelijk met (ultradiepe) geothermie. Binnen dit deelprogramma komen proefboringen, maar ook maatschappelijke, organisatorische en financieringsvragen rond geothermie aan bod. Samen met warmtepomptechnologie (7.1) is inzet van de warmte in een breder temperatuurbereik mogelijk.

### 7.4. Toepassing van klimaatneutrale brandstoffen

Een aantal hogetemperatuur processen zal nog lang afhankelijk blijven van brandstoffen. Toepassing van klimaatneutrale brandstoffen, zoals waterstof of energiedragers op basis van biomassa vraagt om aangepaste branders en/of fornuizen. Ook de niet-constante samenstelling van dergelijke brandstoffen stelt extra eisen aan branders. Dit deelprogramma richt zich daarom verbeteren van de toepasbaarheid en daarmee de energie- en/of koolstofefficiency van deze alternatieve brandstoffen.

### 7.5. Systeemconcepten voor warmte en koude

Verlaging van CO<sub>2</sub>-emissies bij warmte gedreven processen is vooral effectief vanuit een systeem perspectief op het warmtegebruik. Ingrepen in de warmtevoorziening van een proces hebben meestal ook invloed op het warmtesysteem van de site of zelfs in een regionaal warmtesysteem. Daarom zijn ontwerp- en analysetools essentieel, die onderbouwd worden vanuit nieuwe (technologische) inzichten vanuit de andere deelprogramma's. Naast het warmtesysteem van de industrie omvat dit deelprogramma ook de uitkoppeling van laagtemperatuur warmte naar de gebouwde omgeving.

### 1.3 De samenhang van de deelprogramma's

De deelprogramma's zijn vormgegeven rond drie complementaire thema's binnen het industriële warmtesysteem. Deze drie thema's zijn: (1) warmtebronnen, (2) efficiency en hergebruik van warmte en (3) warmte-integratie. De deelprogramma's zijn als volgt onderverdeeld onder de drie thema's:

- Efficiency en hergebruik van warmte: 7.1 Maximaliseren van proces-efficiency en 7.2 Warmtehergebruik, -opwaardering, en -opslag
- Warmtebronnen: 7.3 Geothermie en 7.4 Hernieuwbare brandstoffen
- Warmte-integratie: 7.5 Systeemconcepten voor warmte en koude

Binnen MMIP 7 worden de 5 deelprogramma's in samenhang ontwikkeld. Procesefficiency wordt daar ingezet waar ook bij nieuwe processen nog steeds knelpunten zitten. Warmtehergebruik, -opwaardering en -opslag wordt in samenhang met uitkoppeling naar andere sectoren ontwikkeld. Samen met het deelprogramma geothermie wordt de synergie gezocht met MMIP 4 (gebouwde omgeving). Hernieuwbare brandstoffen kunnen voor de korte termijn ingezet worden op warmteproductie bij bestaande processen, maar zullen voor de langere termijn vooral daar een plek vinden waar een brandstof onmisbaar is. Voor biomassa als brandstof wordt ingezet op een verschuiving naar laagwaardige reststromen en inzet van biobased gasstromen zonder verdere opwerking.

## 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
- Systeemconcepten voor warme 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 tenslotte in 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.

- **Waterstofproductie** (MMIP8) speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen van circulaire economie, met name op gebied van synthesesegas 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 een doorsnijdend programma in ontwikkeling, 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</b> <b>- 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 - zeewier-productie 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>				

<b>MMIP8: Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen</b>				
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-Grolsch-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

## 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
- Slaagkansen 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.

- Opgaves die **donkergroen** scoren hebben een hoge prioriteit en moeten als eerste worden opgenomen in de MMIP.
- Opgaves die **groen** scoren hebben een gemiddelde prioriteit en worden toegevoegd als er voldoende budget beschikbaar is
- Opgaves die **lichtgroen** scoren hebben een lage prioriteit en worden mogelijk op een later moment in de MMIP opgenomen
- Opgaves 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. MMIP7: Een 100% CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem

### 3.1 Inleiding

Deze inleiding bevat een inhoudelijke beschrijving van het MMIP en de missie waar het onder valt, inclusief de concrete doelstellingen vanuit klimaatakkoordperspectief waar het MMIP in 2030 en 2050 aan bijdraagt.

#### 3.1.1 Concrete doelstellingen 2030 en 2050 van missie

In 2030 zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt. De inzet van klimaatneutrale energiedragers is essentieel om duurzame (tussen)producten en brandstoffen te kunnen leveren. Hoewel per proces- en productieketen het gebruik van energie verschilt zijn veel duurzame warmte innovaties toepasbaar in vrijwel alle sectoren. Daarom wordt dit MMIP cross-sectoraal programmatisch opgezet waarbij alle sectoren meedoen en meedelen.

Binnen de processen is het energieverbruik op basis van fossiele energiedragers de oorzaak van CO<sub>2</sub>-emissies. Door efficiëntie verhoging, aanpassing van energiebronnen en hergebruik van energie worden deze emissies teruggedrongen. Daarnaast zal kosten-efficiënte CCS worden toegepast (uitwerking binnen MMIP6).

Doelstelling van dit MMIP is om een omslag te bereiken in de omgang met warmte. Dit gebeurt door innovatie en praktijk actief te koppelen, in een breed gedragen cross-sectoraal programma. Hybride leeromgevingen worden opgezet in cross-sectorale samenwerkingen waar werken, leren en innoveren samenkomen. Door intensieve samenwerking in het programma zal gezorgd worden voor zowel eigen technologieontwikkeling als demonstratie van relevante technologieën uit het buitenland, opbouw van competenties en kostprijs- en risicoverlaging.

#### 3.1.2 Inhoudelijke beschrijving van het MMIP

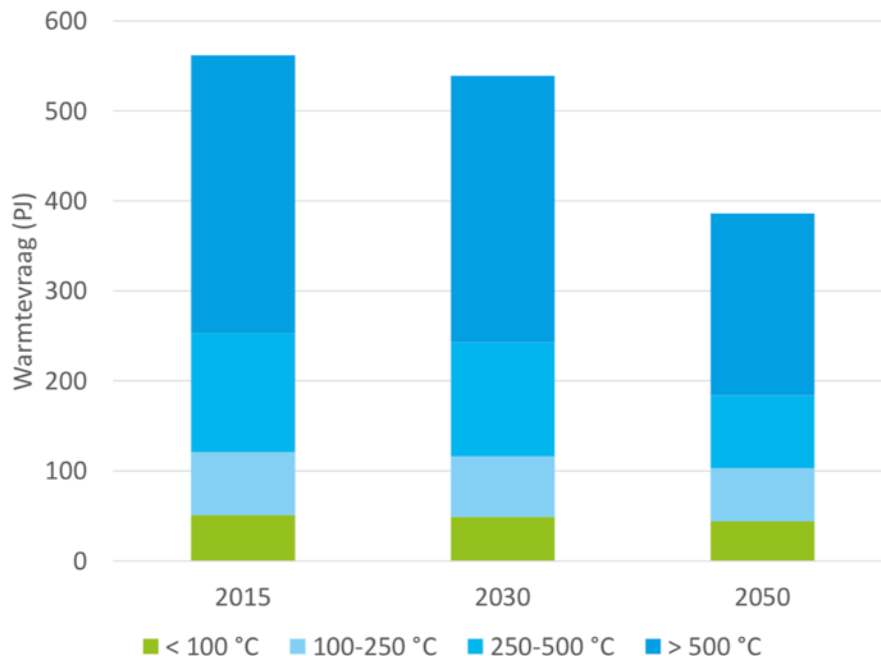
Grondstoffen en materiaalstromen doorlopen vaak grote temperatuurtrajecten (temperaturen van -200 °C tot 2000 °C). De processen worden met name aangedreven met proceswarmte uit de utiliteitsschil (warm water, stoom, ondervuring) of door warmte die vrijkomt bij (chemische) omzettingen. Een klein deel van de energievoorziening van processen bestaat uit elektriciteit.

De omslag naar een 100% CO<sub>2</sub>-vrij warmtesysteem voor de industrie is niets minder dan een revolutie. Warmte wordt nu voornamelijk opgewekt uit fossiele brandstoffen (gas, olie, kolen) en cascadeert van hoge naar lage temperatuur door de processen waarna het aan de omgeving afgegeven wordt. Deze praktijk moet omgebouwd worden naar een systeem met maximale toepassing van circulaire van warmte; opwaarderen in plaats van emitteren naar het milieu. Naast hergebruik binnen de plant of site wordt ook uitkoppeling naar andere gebruikers/sectoren (tuinbouw, gebouwde omgeving) in een integrale warmte-optimalisatie meegenomen. Primaire opwek moet daarbij uit 100% duurzame bronnen komen.

Voor het zichtjaar 2030 zijn de innovaties gericht op het versneld beschikbaar krijgen van technologie voor temperaturen tot ongeveer 300 °C (warm water en lage tot middendruk stoomsystemen) door standaardisatie, modularisatie en projectmatige aanpak voor ontwerp, ombouw en integratie in de bestaande industrie. Parallel wordt ingezet op efficiency verhoging in unit operations, door efficiënte reactoren, scheidings- en droogprocessen.

Tegelijkertijd wordt technologie ontwikkeld die na 2030 in het hoogste temperatuursegment (boven 300 °C, hogedruk stroom, warmte uit branders) voor een omslag zorgt. Versnelling volgt daarnaast uit ontwikkeling van ontwerptools die rekening houden met de systeemfunctie van warmte, door

kennisopbouw over niet-technologische barrières bij collectieve besluitvorming, en door het betrekken van alle stakeholders in learning communities. Volledig opnieuw ontworpen procesroutes, die mogelijk bestaande thermische routes kunnen vervangen zijn ondergebracht in MMIP 8.



Figuur 7.1 Huidige en verwachte ontwikkeling van warmtegebruik in de Nederlandse industrie, per temperatuurgebied (Bron: Blueterra, 2018)<sup>2</sup>

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

De deelprogramma's zijn vormgegeven rond drie complementaire thema's binnen het industriële warmtesysteem. Deze drie thema's zijn: (1) warmtebronnen, (2) efficiency en hergebruik van warmte en (3) warmte-integratie. De deelprogramma's zijn als volgt onderverdeeld onder de drie thema's:

- Efficiency en hergebruik van warmte: 7.1 Maximaliseren van proces-efficiency en 7.2 warmtehergebruik, -opwaardering, en -opslag
- Warmtebronnen: 7.3 Geothermie en 7.4 Hernieuwbare brandstoffen
- Warmte-integratie: 7.5. Systeemconcepten voor warmte en koude

Binnen MMIP 7 worden de 5 deelprogramma's in samenhang ontwikkeld. Procesefficiency wordt daar ingezet waar ook bij nieuwe processen nog steeds knelpunten zitten. Warmtehergebruik, -opwaardering en -opslag wordt in samenhang met uitkoppeling naar andere sectoren ontwikkeld. Voor dit deelprogramma samen met het deelprogramma geothermie wordt de synergie gezocht met MMIP 4 (gebouwde omgeving). Huidige processen leveren veel restwarmte, maar ook toekomstige (elektrische) processen zijn bronnen van restwarmte met enorme volumes. De temperatuur waarop de restwarmte beschikbaar komt kan verschillen. Er is een algemene trend naar verlaging van de temperatuur waarop warmte wordt uitgekoppeld. Nieuwe grootschalige processen, zoals bijvoorbeeld elektrolyse met PEM of alkaline elektrolyzers leveren grote stromen van vergelijkbare laagwaardige warmte. In enkele gevallen zullen ook nieuwe processen hogetemperatuur warmte blijven leveren, zoals bijvoorbeeld een kraakproces met een elektrisch fornuis. Vanwege deze sterke interactie met nieuwe en elektrische processen, worden MMIP 7 en 8 dicht bij elkaar gebracht. In deelprogramma

<sup>2</sup> Blueterra, Toekomstvisie WKK- De nieuwe rol van WKK in een veranderend energielandschap, Juli 2018

7.5 tenslotte wordt aandacht gegeven aan de interactie tussen unit operations en het (toekomstige) warmtesysteem. Bestaande restwarmtebronnen zullen worden uitgefaseerd en nieuwe zullen opkomen. Dit leidt tot nieuwe mogelijkheden voor optimalisatie en integratie.

Hernieuwbare brandstoffen kunnen voor de korte termijn ingezet worden op warmteproductie bij bestaande processen, zoals boilers, ovens en fornuizen. Voor de langere termijn zullen dergelijke brandstoffen vooral daar een plek vinden waar een brandstof onmisbaar is, vanwege de schaal, het temperatuurniveau of bijvoorbeeld het reactorontwerp. Voor biomassa als brandstof wordt ingezet op een verschuiving naar laagwaardige reststromen en inzet van biobased gasstromen zonder verdere opwerking.

Daar waar het warmtesysteem opnieuw geoptimaliseerd wordt kunnen ook reststromen overblijven die nu als brandstof worden ingezet. Dit kan bijvoorbeeld spelen in MMIP 8 voor elektrificatie van processen die nu met ondervuring worden verwarmd. Benutting van reststromen, inclusief restgassen heeft een plek in MMIP 6. Omdat de veranderingen in het warmtesysteem de aanleiding zijn voor deze ontwikkeling, zal vanuit MMIP 7 gewerkt worden aan een integrale benadering van dit vraagstuk.

MMIP 7 draagt naar schatting bij aan een CO<sub>2</sub>-emissiereductie potentieel van 11-25 Mton per jaar, onderverdeeld naar:

- 7.1 Maximaliseren van proces-efficiency – 2-5 Mton
- 7.2 warmtehergebruik, -opwaardering, en -opslag – 4-10 Mton exclusief elektrische krakers
- 7.3 Geothermie – 1-2 Mton
- 7.4 Hernieuwbare brandstoffen – 4-8 Mton
- 7.5. Systemconcepten voor warmte en koude – enabling programmaliijn

### 3.3 Stand van zaken/overzicht

In deze paragraaf wordt de huidige nationale en internationale stand van zaken beschreven met betrekking tot de ontwikkeling van de innovatie en technologie binnen MMIP7. Vragen die beantwoord worden zijn: Hoe verhoudt Nederland zich dit tot de internationale stand van zaken? Welke onderdelen zijn te onderscheiden? Op welk TRL-niveau zit het? Wat zijn de verwachtingen t.a.v. de ontwikkeling van alle onderdelen in de komende 3-5 jaar, tot 2030 en tot 2050? Hoe ziet het innovatiesysteem eruit, wat ontbreekt er nog aan en wat betekent dat voor de benodigde inzet?

#### 3.3.1 Overzicht belangrijkste technologieën

De belangrijkste technologiegroepen in dit MMIP zijn hieronder kort weergegeven, inclusief de status. Per deelprogramma wordt meer in detail ingegaan op specifieke innovatiegebieden, de status en de gewenste ontwikkeling.

- **Scheidingstechnologie en procesintensificatie**  
Nederland heeft een sterke positie op het gebied van scheidingstechnologie, zowel op conventioneel gebied (o.a. destillatie, gasscheiding), als op innovatief gebied (membranen, geavanceerde sortieprocessen, materialen, reactoren). Deze positie is op onderdelen onderscheidend, maar niet wereldwijd uniek. De belangrijkste factor die Nederland geschikt maakt voor dergelijke innovaties is de brede kennisbasis, door jarenlang onderzoek en ontwikkeling aan technische universiteiten, kennisinstututen en diverse bedrijven (leveranciers en gebruikers van technologie). Dat betekent dat een slimme mix van zelf ontwikkelen, integreren, en in een enkel geval inkopen van de technologie de beste optie lijkt.
- **Digitalisering**  
Digitalisering in de industrie, ook wel Industrie 4.0 genoemd, is in Nederland in opkomst. Dit is een breed veld dat met name in Duitsland al een grote vlucht genomen heeft. Waar Duitsland meer inzet op de maakindustrie, is in Nederland ook behoefte aan digitalisering in de

procesindustrie, gericht op energiebesparing, CO<sub>2</sub>-emissiereductie en voorspellen van onderhoud. Specifiek voor Nederland liggen er daarom kansen voor bedrijven die data verzamelen van complexe processen en daarmee efficiency verbeteringen kunnen doorvoeren. Dit varieert van relatief eenvoudige monitoring en voorspelling, tot complexere analyses van digital twins van fabrieken of sites. Een klein aantal Nederlandse MKB-bedrijven lijkt hierin een specifieke niche gevonden te hebben. De Nederland-ICT en het Kennisplatform Efficiënte Elektrische Aandrijvingen (KEEA) profileren sterk op toepassingen in de procesindustrie. Daarmee lijkt een goede voedingsbodem aanwezig om specifiek toepassingsgebieden te ontwikkelen.

- **Warmtepompen**  
Nederland is een koploper op het gebied van warmtepompen voor de industrie. Een aantal component- en systeemleveranciers heeft zich inmiddels verenigd in het Platform Warmte-Integratie dat door ISPT wordt getrokken. Ook grote eindgebruikers van dergelijke technologie zijn aan boord. ECN.TNO heeft een wereldwijd unieke kennispositie op dit gebied opgebouwd en heeft naast eigen technologie-ontwikkeling ook faciliteiten om commerciële warmtepompen te testen en te valideren. Op dit gebied liggen daarom goede kansen om een kennis- en technologieportfolio op te bouwen waarmee Nederlandse maakbedrijven lokaal en internationaal de markt kunnen veroveren. Tegelijk is dit een technologiefamilie die grote impact kan hebben op onze lokale CO<sub>2</sub>-emissies.
- **Geothermie**  
Kennis over het potentieel van geothermie is altijd lokaal nodig. Om die reden hebben EBN en TNO al langer de taak om de ondergrond in kaart te brengen en het potentieel te verkennen. In de tuinbouw is inmiddels ervaring opgedaan met diepe geothermie, die kan worden gebruikt voor de ontwikkeling van ultradiepe geothermie (UDG). Voor de exploratiefase liggen er kansen voor bedrijven die in olie en gas actief zijn. De kans is vrij groot dat dit Nederlandse partijen zullen zijn. Naast proefboringen is voor UDG socio-technisch onderzoek nodig. Binnen Nederland is door een aantal universiteiten, TNO en o.a. het CATO-consortium ervaring opgedaan met dergelijke trajecten rond CCS, en de uitrol van grootschalige zonne- en windenergie.
- **Branders en fornuizen**  
Brandertechnologie wordt wereldwijd geleverd door een relatief groot aantal partijen. Een aantal Nederlandse MKB-bedrijven levert wereldwijd dergelijke systemen op diverse schaal. Daarnaast heeft ook een aantal eindgebruikers die hier gevestigd zijn een eigen technologiepositie. Aan de universiteit Twente wordt aan branders voor alternatieve gasvormige branders gewerkt, terwijl de TU/e zich richt op metal fuels, samen met een aantal ondernemingen in het Metalot initiatief. Daarmee ligt er voldoende voedingsbodem om dit onderwerp vanuit het perspectief van CO<sub>2</sub>-emissiereductie verder te versterken.
- **Systeemmodellering**  
Binnen Nederland is bij diverse universiteiten, TNO en een aantal innovatieve engineering bedrijven een sterk ontwikkelde kennisbasis voor systeemmodellering van innovatieve procestechnologie en inpassing daarvan in systemen. De uitdaging die nu voorligt is om die kennis toepasbaar te maken op het optimaliseren van sites richting toekomstige warmtesystemen, waarbij het bestaande niet zomaar kan worden afgeschreven. Vanuit een aantal eindgebruikers is de wens uitgesproken om dit een goede plek te geven in het kennis en innovatieprogramma.

Per deelprogramma zijn innovatievragen en activiteiten weergegeven. Aan deze activiteiten zijn TRL's gekoppeld waarbinnen de activiteiten plaatsvinden.

### 3.3.2 Kennispositie Nederland vs. Internationaal

Nederland heeft een cultuur die cross-sectorale samenwerking versterkt. Er is een sterk kennisecosysteem voor de procesindustrie dat het fundament biedt waarop de transitie naar 100 procent CO<sub>2</sub>-vrije warmte opgebouwd kan worden. Nederland heeft een hoogwaardige maakindustrie



die marktklare producten (warmtepompen en geïntegreerde systemen met warmtepomptechnologie) kan ontwikkelen en leveren, en een aantal sterke engineering bedrijven. De samenwerking over de vele (sub)sectoren is echter beperkt, terwijl dit juist op het gebied van warmte tot versnelling kan leiden. Het traject van apparaat naar marktcreatie is nog onderontwikkeld. Academische expertise over apparatenbouw is daarnaast de afgelopen jaren afgenomen. Het is zeer belangrijk dat deze expertise over de grenzen van disciplines, sectoren en culturen weer wordt opgebouwd.

De Nederlandse maakindustrie en engineering- en dienstensector kan een koppositie verwerven in het ombouwen van de warmtehuishouding van de industrie. Hiervoor is buiten Nederland nog relatief weinig aandacht. Dit kan versterkt worden door samen te werken met partijen buiten Nederland met een gevestigde reputatie in de technologische sector en met OEM's van wereldklasse die grootschalige systemen en componenten leveren tegen lage kostprijs. Er ligt een kans om via gezamenlijke demonstratie en uitrol activiteiten een technologie- en dienstenportfolio op te bouwen dat exportmogelijkheden biedt aan de Nederlandse maakindustrie. Daarnaast worden ook buiten Nederland relevante technologieën ontwikkeld die van belang zijn voor de Nederlandse industrie om versneld CO<sub>2</sub>-emissiereductie te realiseren. Een goede balans van export van Nederlandse producten en import van complementaire producten uit het buitenland is cruciaal voor de benodigde versnelling.

De samenhang met diverse nationale en internationale initiatieven voor zover specifiek gerelateerd aan dit onderwerp is weergegeven in de onderstaande tabel.

<b>Programma/agenda</b>	<b>Thema's</b>
<b>Topsector Energie</b>	Programmalijnen Warmte, Geothermie, Waterstof, Groen Gas
<b>Topsector HTSM</b>	High-tech materials, Smart Industry, Nanotechnology
<b>Kennisinstellingen</b>	TNO (warmtetechnologie, geothermie), ECCM (power-to-heat), VoltaChem (power-to-heat), diverse academische programma's
<b>Kennisnetwerken</b>	ISPT (programma's warmte en systeemintegratie), NL-GUTS (Scheidingstechnologie), PIN-NL (procesintensificatie), NWGD (drogen), NMG (membraantechnologie), KEEA (efficiënte aandrijvingen)
<b>Regio's</b>	Deltalinqs en Smartport (Rotterdam), SDR (Zeeland), Brightlands/Chemelot, Chemport Europe (Regio Noord), NZKG (Amsterdam-IJmuiden), Brainport Eindhoven (high-tech, fotonica)
<b>SCAN, Green Deal UDG (EBN)</b>	Potentieel UDG
<b>H-VISION</b>	Waterstof waardeketen, inclusief gebruik voor HT warmte, regio Rotterdam
<b>EU (H2020, SETplan)</b>	SPIRE (duurzame procestechnologie)  SETplan (energietechnologie) – Action Group 6 Industrial Energy Efficiency
<b>IEA TCP-IETS</b>	Industrial Energy Technologies and Systems – Annex Industrial Electrification; door NL geleide samenwerking

### 3.4 Valorisatie en marktcreatie

Valorisatie is essentieel voor de implementatie van innovaties en dus voor de daadwerkelijke verduurzaming van de industrie. Hier worden de valorisatie van het innovatie-aanbod en condities voor marktcreatie beschreven voor de innovatietrajecten onder MMIP 7.

#### *Valorisatie*

Een aantal platforms is al actief met kennisverspreiding naar het MKB en naar eindgebruikers van innovaties rond het warmtesysteem. Hieronder vallen:

- Activiteiten van ISPT met het warmtecluster van bedrijven en kennisinstellingen en een recent gestart platform warmte-integratie
- Programmatische activiteiten van ECN.TNO gericht op het verbinden van de vragen van eindgebruikers aan innovatietrajecten en een portfolio van oplossingen dat door MKB-bedrijven wordt aangeboden rond warmte. Dit gaat o.a. om warmtepompen en -transformatoren, maar ook om warmteopslag en integratie van elektriciteitsopwekking en warmte.
- Werkgroepen NLGUTS voor scheidingstechnologie, PIN-NL voor procesintensificatie en de Nederlandse WerkGroep Drogen (NWGD).<sup>3</sup> Deze platforms zorgen voor kennisdisseminatie, en richten van innovatievragen.

Vanuit FME en een aantal technologie-aanbieders is onlangs het 6/25 initiatief gestart, een uitrolagenda om in 2025 6 Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie gerealiseerd te hebben met Nederlandse technologie. De meeste technologieën in deze agenda hebben een directe link met MMIP 7.

Generieke regelingen zoals de MIT-regeling, de MKB-innovatiestimulering Regio en Topsectoren bieden mogelijkheden voor ondersteuning van innovatietrajecten. Vanwege hun generieke karakter passen ze minder bij een missiegedreven aanpak. De MIT-regeling beoogt ook projecten van het MKB te laten aansluiten bij de innovatie-agenda's van de topsectoren. Valorisatie via MIT zou nog verder versterkt kunnen worden door het versterken van de samenwerking tussen topsectoren, RVO en industrieregio's bij het beoordelen van voorstellen.

Afstemming en, waar mogelijk, een samenhangende programmering van activiteiten en middelen tussen de topsectoren, RVO en de regio's/Regionale ontwikkelingsmaatschappijen is een voorwaarde voor succes. De provincies en de ROM's beschikken over kennis en instrumenten die meer gericht zijn op de regionale uitdagingen. Voor o.a. geothermie, uitkoppeling van warmte via warmtenetten is er sterke overlap met innovaties in de gebouwde omgeving. Daarom leent dit zich bij uitstek voor een regionale benadering. Verduurzaming van industriecomplexen vanuit het perspectief van vestigingsklimaat en werkgelegenheid past heel goed bij het perspectief van regionale ontwikkeling.

Een belangrijk spoor in deze aanpak zijn ook de EFRO-programma's, waarin naar verwachting een sterker accent op innovatie en duurzaamheid zal worden gelegd. Door de samenwerking en inhoudelijke aansluiting te zoeken van de missies en sleuteltechnologieën met de Regionale Innovatiestrategieën (RIS) kunnen gezamenlijke inhoudelijke en financiële inspanningen nog beter op elkaar worden afgestemd.

#### Marktcreatie

De overheid (nationaal en EU) zet in op marktcreatie via een aantal sporen. Stimulering van duurzaam inkopen en aanbesteden staat hoog op de agenda bij het inkoopbeleid (maatschappelijk verantwoord inkopen). Stimuleren van het aanbod van duurzame innovaties vindt ook plaats in de fase van marktintroductie, via het fiscale instrumentarium (SDE+, EIA, MIA/Vamil). ETS levert een financiële prikkel op. Via de MJA/MEE systematiek zijn significante maar ook incrementele stappen naar hogere energie-efficiency gezet. Tegelijk blijft ook voor relatief kosteneffectieve en ver ontwikkelde opties de markt vraag achter.

---

<sup>3</sup> <https://www.processinnovation.nl>

## 3.5 Samenwerking en samenhang andere MMIP's

### 3.5.1 Stakeholders en Samenwerking

Missie C betreft zowel de procesindustrie met hoge-temperatuur processen en warmteoverschot, als de kleinere relevante energiegebruikers 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. Vanwege de omvang van de CO<sub>2</sub>-emissies in de vijf clusters (ca. 60% van de industriële uitstoot), wordt een groot deel van de inspanningen in dit MMIP daarop gericht. Tegelijk wordt ingezet op de innovatiekracht van de kleinere industriegebieden, omdat juist daar vaak de innovatieve maakindustrie te vinden is.

De toeleverende keten bestaat uit adviesbureaus, ingenieursbureaus en EPC contractors, systeembouwers van productielijnen, technologie-leveranciers voor de procesindustrie, en leveranciers van apparaten en componenten zoals warmtepompen, compressoren, warmtewisselaars en aanverwante subsystemen. Specifiek voor geothermie is de betrokkenheid van EBN als regisseur van de uitrol van groot belang.

### 3.5.2 Crossovers en synergiën met andere MMIP's

Op het gebied van benutting van restwarmte en toepassing van geothermie liggen er verbanden met MMIP 4 (gebouwde omgeving en glastuinbouw) en MMIP 13 (systeemaspecten van warmte en infrastructuur). Bedrijven hebben verschillende mogelijkheden om CO<sub>2</sub>-emissiereductie te bewerkstelligen. Activiteiten om CO<sub>2</sub> vrije warmte te verkrijgen uit brandstoffen hebben raakvlakken met MMIP 6, 8 en 11. Radicale doorbraken om de warmtebehoefte van processen te verlagen of te elimineren worden ontwikkeld binnen MMIP 8, waarbij nieuwe restwarmtestromen ontstaan op lagere temperatuurniveaus.

Er zijn meerdere innovatiethema's die inhoudelijk grenzen aan of deels overlappen met de innovatiethema's van de andere twee industriële MMIP's, namelijk MMIP6 en MMIP8. Dit zijn:

- Vergassing en pyrolyse t.b.v. productie van chemicaliën – MMIP 6.
- Koppelen van technologie voor biomassaverbranding en CO<sub>2</sub>-afvangst – MMIP 6.
- Procesvernieuwing om warmtevraag te verminderen (e.g. nieuwe droogprocessen) – MMIP8

Daarnaast liggen er systeemvragen vanuit de industrie die in samenhang met MMIP 13 worden opgepakt. Het gaat bijvoorbeeld om flexibiliteit, elektrificatie en de beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit, infrastructuur voor warmte, gassen en elektriciteit, en om energieopslag in de vorm van moleculen (power-to-molecules) en warmte.

## 4. Deelprogramma 1: Maximalisering van proces-efficiency

### 4.1 Programmatische aanpak

Proces-efficiency op het niveau van unit operations is een cruciaal ingrediënt voor een CO<sub>2</sub>-vrij warmtesysteem omdat hiermee de warmtebehoefte afneemt. In dit deelprogramma zijn efficiënte scheidings- en droogprocessen en slimme processen met diverse sensoren en sturing met slimme algoritmes de belangrijkste onderdelen.

Kenmerkend voor al deze routes is een verlaging van de energievraag in de specifieke unit operaties. Aangezien de industriële energievraag voor het overgrote deel uit warmte bestaat, gaat het met name

over de verlaging van de warmtevraag. Deze warmtevraag zit o.a. in de chemische reacties, in de daaropvolgende scheidingen, droogprocessen en het vloeibaar maken van materialen ten behoeve van vormgeving. Binnen de industrie zijn de processen in te delen in verschillende temperatuurgebieden (zie ook Figuur 7.1). De hoogste temperaturen van  $>1200^{\circ}\text{C}$  (110 PJ/j) zijn nodig in de productie van staal, glas en cement of producten die hiervan gemaakt zijn. Het temperatuur gebied tussen de  $900$  en  $1100^{\circ}\text{C}$  (130 PJ/j) heeft vergelijkbare toepassingen alsmede het reformeren van methaan en stoomkraken van nafta voor de chemische industrie. Het middengebied van  $400$  tot  $600^{\circ}\text{C}$  (120 PJ/j) is vooral van belang in de sectoren chemie en raffinage, voor o.a. het ontzwellen van brandstoffen. Het gebied van  $100$  tot  $200^{\circ}\text{C}$  (200 PJ/j) is uiteindelijk nodig voor diverse processen in de papier- en voedselsectoren alsmede vele scheidingen in de chemie.

Bij gelijkblijvende omstandigheden is de vraagvermindering vooral te behalen in het lagere temperatuurgebied. Dit geldt met name op plekken waar geen combinatie met hogere temperatuurprocessen mogelijk is, omdat in dat geval geen warmte van hoge naar lage temperatuur cascadeert. Voor geïntegreerde sites zijn verandering van grondstoffen of fundamenteel nieuwe processen zonder hoge temperatuur warmte nodig, om de toepassing van innovaties op lagere temperaturen mogelijk te maken. De ontwikkeling van deze opties wordt gedaan onder MMIP 6 en 8.

### *1. Uitrol membraan-toepassingen ter vervanging van destillatie*

In vergelijking met destillatie hoeft er veel minder vloeistof verdampt te worden om een scheiding te laten plaatsvinden. Dit geldt met name als het te scheiden mengsel een azeotroop is, waarbij de vloeistof en de dampfase dezelfde samenstelling hebben. De traditionele oplossingen als destilleren onder verschillende druk, of gebruik te maken van een hulpstof leiden tot zeer energie intensieve processen. Membraanprocessen kunnen hier een geschikt alternatief voor zijn, mits ze op de gewenste schaal en in het bestaande proces inpasbaar zijn.

### *2. Procesintensificatie door gecombineerde reactie en scheiding*

Vele chemische reacties worden belemmerd door een geringe conversie in één enkele reactie stap. Dit komt door intrinsieke thermodynamische factoren, door beperkte selectiviteit van katalysatoren en door ongunstige reactieomstandigheden. Traditioneel wordt hiervoor een economische optimalisatie gezocht. Door de combinatie van reactie en scheiding toe te passen in één vat kunnen de thermodynamische belemmeringen worden omzeild en kan de conversie sterk worden verhoogd. Dit leidt vervolgens tot een verandering in de totale procesgang waarbij lagere reactie temperaturen, verminderde scheidingskosten en hogere productiviteit een grote rol gaan spelen. De integratie van membranen en/of sorbenten in reactoren verdient hiervoor speciale aandacht.

### *3. Drogen en ontwateren*

De standaardmethoden om gassen, vloeistoffen en vaste stoffen te drogen en te ontwateren zijn energie intensieve operaties via uitcondenseren, destillatie of andere thermische processen. Meer efficiënte procesgangen zijn bijvoorbeeld drukgedreven processen, zoals nanofiltratie. Ook zijn andere droogtechnieken waarbij minder water hoeft te worden verdampt relevant, zoals sorptie-drogen of drogen met behulp van een warmtepomp. Droogprocessen spelen vooral in de papier- en voedingsindustrie. De route naar energie-efficiency hierbij is onder andere het ontwateren naar hogere vaste stofgehalte door mechanisme ontwateren zoals persen, verkleining van de droogluchtstroom, en de verbetering van de warmteoverdracht processen in het drooggedeelte. Mogelijkheden hiertoe zijn bijvoorbeeld door middel van straling, infrarood en magnetron, optimalisatie convectiestromen.

#### *4. Automatisering en digitalisering*

Door de toegenomen rekenkracht van computers en beschikbaarheid van goedkope sensoren is het nu mogelijk om veel meer inzicht te verkrijgen in hoe een proces verloopt. Dit maakt het mogelijk om een groot aantal meetgegevens simultaan en real time te analyseren, en op grond hiervan het proces bij te sturen. Dit leidt potentieel tot hogere conversies, afname van verstoringen van processen, toename van up time, en mede daardoor een verbeterde efficiency. Dit soort geavanceerde process control en verregaande digitalisering van processen kan worden gebruikt om voedingsstroom, druk en temperatuur en verblijfstijden beter op elkaar af te stemmen. Dit geldt met name ook voor processen die intrinsiek dynamisch zijn, maar ook statische processen kunnen dichter bij een optimum worden gebracht.

#### *5. Uitkoppeling van restwarmte naar de gebouwde omgeving*

Tenslotte kan significante CO<sub>2</sub>-emissiereductie worden bereikt in de gebouwde omgeving, wanneer industriële restwarmte wordt uitgekoppeld en getransporteerd via warmtenetten. Op dit moment is warmte tot een temperatuurniveau van ca. 70 °C nog geschikt voor hergebruik in de industrie via opwaardering tot hogere temperaturen. Er blijft echter een grote stroom restwarmte van lagere temperatuur beschikbaar, ook bij verregaande verbetering van de efficiency en bij elektrificatie. Deze warmte kan via een warmtenet op lage temperatuur, een zogeheten bronnet, efficiënt worden getransporteerd naar woningen en kantoren of glastuinbouw. Deze ontwikkeling heeft sterke raakvlakken met MMIP 4 en moet in samenhang ontwikkeld worden.

Tabel A deelprogramma 7.1- Maximalisering van proces-efficiency: concretisering innovatieopgaven per deelprogramma

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	
<b>7.1a: Uitrol membraan-toepassingen ter vervanging van destillatie</b>	Membraantechnologie wordt herkend als essentiële oplossing voor moleculaire scheidingen	3 grootschalige pilots voor azeotropische mengsels en/of terugwinning van componenten uit organische vloeistoffen		X				↔		SCA, SOP
		Ontwikkeling standaard procesmodelleringtool voor pervaporatie- en nanofiltratiemembranen	X				↔	↔		SKT
		Ontwikkeling kosteneffectieve fabricage technologie voor grootschalige productie t.b.v. demonstraties en productie		X			↔			SKT
		Ontwikkeling waardeketen van membraanproducent via OEM naar eindgebruikers			X			↔		SKS
<b>7.1b: Procesintensificatie door gecombineerde reactie en scheiding</b>	Efficiëntere reactoren beschikbaar door PI	Ontwikkeling reactorconcepten met optimalisatie van scheiding, reactie en warmtehuishouding		X	X	↔	↔			SKF, SKT
		Piloting van 2 meest belovende concepten			X		↔	↔		SCA, SOP, GAR
<b>7.1c. Energie-efficiënte droog- en ontwateringsprocessen</b>	Minimaal 5 demo's in verschillende bedrijfstakken	Onderzoek kosteneffectieve membranen en drukgedreven processen	X			↔	↔			SKF, SKT
		Ontwikkeling nieuwe kosten- en energie-efficiënte technieken voor ontwateren en drogen (membranen, drukgedreven, superheated steam)		X		↔	↔			SKF, SKT
		Pilots nieuwe droogprocessen (membranen, druk)		X	X			↔		SCA, SOP
		Demonstratie nieuwe ontwater- en droogtechnologieën (e.g. superheated steam)	X	X	X			↔		SKF, SKT
<b>7.1e. Uitrol van geavanceerde process control, digitalisering van processen</b>	Real-time controle en optimalisatie zijn op industriële systemen gedemonstreerd	Ontwikkeling geavanceerde tools gebaseerd op multi-objective and multi-timescale principes		X		↔	↔			SKF, SKT
		Demonstratie van de toegevoegde waarde van het gebruik en de integratie van ICT op industriële sites	X	X	X			↔		SCA, SOP, LEN
	Industrie 4.0 (o.a. AI en machine learning) is in procesindustrie gemeengoed geworden.	Kennisopbouw artificial intelligence en machine learning		X		↔				SKF
	Uitrol van ICT-toepassingen voor actieve energie monitoring en control	X	X	X			↔		SCA, SOP	
	Ontwikkelen en applicatietesten van man-machine concepten voor condition-based monitoring en predictive maintenance		X				↔		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	
<b>7.1f: Uitkoppeling van restwarmte op LT (~40°C) naar gebouwde omgeving</b>	LT warmtenet in 1 industrie regio uitgerold, inclusief uitkoppeling en systeemoptimalisatie	Systeemstudie voor 2-3 industrieclusters en omliggende woonwijken	X	X					↔	SKS
		Techno-economische evaluatie van investeringen bij industrie, in infrastructuur en bij woningen		X					↔	SKS
		Businessmodel ontwikkeling van warmtelevering		X	X				↔	SKS

**Legenda voor kleuren:** **donkergroen** = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; **groen** = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; **lichtgroen** = lage prioriteit, mogelijk later opnemen;

Tabel B deelprogramma 7.1- Maximalisering van proces-efficiency: toelichting prioriteiten per deelprogramma

Innovatieopgave	Prioriteit	Toelichting
7.1a: Uitrol membraan-toepassingen ter vervanging van destillatie	Middel	Destillatieprocessen zijn meestal gekoppeld aan productieprocessen op zeer grote schaal. Daarnaast is de combinatie van processtroom en het passende membraan bij vloeistofscheidingen vaak zeer specifiek. Dit maakt de sprong voor membraanprocessen naar relevante schaal zeer groot, terwijl het energie-besparingspotentieel navenant groot is. Eindgebruikers in Nederland hebben weinig (zichtbare) interesse in dit onderwerp, waarschijnlijk vanwege bovenstaande overwegingen. Op korte termijn zijn grootschalige processen nog niet de doelgroep zijn voor membraan-toepassingen. Wanneer succesvolle toepassingen op kleinere schaal zijn gedemonstreerd, komen ook de grootschalige (huidige destillatieprocessen) in beeld.
7.1b: Procesintensificatie door gecombineerde reactie en scheiding	Laag	Procesintensificatie is veelbelovend en staat op de agenda van een aantal relevante eindgebruikers. Deze interesse is zichtbaar in het PIN-NL netwerk van eindgebruikers en maakindustrie. Voor toepasbaarheid op de huidige schaal van processen zijn nog grote opschalingsstappen nodig. Procesintensificatie gaat altijd gepaard met investeringen in nieuwe procesapparatuur, zoals reactoren of scheidingsunits. In de afgelopen jaren is in Nederland weinig geïnvesteerd in nieuwbouw van fabrieken, waardoor deze opties nog niet echt doorbreken. Wanneer er grotere investeringsbereidheid ontstaat, komt er ruimte voor dergelijke innovaties.
7.1c. Energie-efficiënte droog- en ontwaterings-processen	Middel	Droog- en ontwateringsprocessen zijn per deelsector vrij specifiek. Tegelijk bestaan ze uit een beperkte set aan unit operaties die over de verschillende deelsectoren gelijk zijn. Dat betekent dat kennisuitwisseling en gezamenlijk leren en experimenteren van groot belang is. De Nederlandse WerkGroep Drogen (NWGD) zet zich al heel lang in voor kennisverspreiding onder de deelnemende bedrijven. Daarnaast zijn de afgelopen jaren een aantal aansprekende projecten opgestart op het gebied van ontwateren met membranen en drogen i.c.m. warmtepompen, met name in de voedingsindustrie. De investeringsbereidheid van eindgebruikers speelt wel een grote rol in deze innovatietrajecten.
7.1e. Uitrol van geavanceerde process control, digitalisering van processen	Hoog	Digitalisering van processen en geavanceerde process control is sterk in opkomst. In Duitsland wordt dit wel Industry 4.0 genoemd, en het onderwerp krijgt daar veel aandacht. Nederland zet minder dan Duitsland in op digitale totaalconcepten, maar meer op het slimmer maken van bestaande processen en fabrieken door sensoren en digitale intelligentie. Met name op de gebieden elektrische aandrijvingen en sensortechnologie hebben Nederlandse bedrijven zich geprofileerd. Daarnaast is een aantal innovatieve bedrijven in Nederland actief om de markt voor kunstmatige intelligentie in de industrie op te bouwen. Vanwege de mogelijke CO <sub>2</sub> -emissiereductie op de korte termijn bij bestaande processen verdient deze ontwikkelrichting aandacht.



7.1f: Uitkoppeling van restwarmte op LT (~40°C) naar gebouwde omgeving	Middel	Vanuit de gebouwde omgeving en de regionale energiestrategieën wordt sterk ingezet op warmtenetten, en wordt naar de industrie gekeken als warmteleverancier. Tegelijk wordt binnen de industrie geoptimaliseerd op het uitkoppelen van lagere temperaturen. Nederland is koploper op het gebied van restwarmtebenutting, en mede door Nederlandse initiatieven zet ook de Europese Commissie sterker in op wat zij "Sector Coupling" noemt (met uitkoppelen van restwarmte als onderdeel). Dit ontwerp is afhankelijk van de bereidheid van de industrie om over de sectorgrens heen te kijken, en de beschikbaarheid van een verdienmodel dat voor alle spelers in de keten waarde genereert.
--	--------	---

## 4.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

Energie-efficiency op basis van bestaande technologie heeft met de MJA/MEE systematiek tot aanzienlijke energiebesparingen geleid. In dit deelprogramma wordt gewerkt aan de volgende generatie technologieën en de inpassing daarvan. Het is van belang om dit in samenhang met de bestaande systematiek te doen.

Voor de ontwikkeling van het technologie-aanbod in dit deelprogramma is sterke samenwerking tussen aanbieders, engineering bedrijven en gebruikers van de technologie van belang, omdat de toepassing de specifieke randvoorwaarden bepaald waaronder de technologie moet kunnen opereren. Dit betekent bijvoorbeeld dat eindgebruikers van de beoogde toepassing vroegtijdig aan boord moeten zijn.

## 4.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Wereldwijd wordt op diverse plaatsen gewerkt aan nieuwe scheidingstechnologie, droog- en ontwateringsprocessen en procesintensificatie. Het is daarom van belang om die toepassingen te selecteren waar in Nederland een relevante vraag ligt vanuit de thuishmarkt. Daarom worden de industriepplatforms PIN-NL, NL-GUTS, NWGD en ISPT betrokken bij selectie, uitvoering en disseminatie van resultaten.

Voor digitalisering is de belangrijkste vraag welke ontwikkelingen autonoom gebeuren en kosteneffectief zijn, en voor welke innovaties vereist zijn.

Uitkoppeling van restwarmte naar de gebouwde omgeving zorgt voor organisatorische vraagstukken rond infrastructuur, temperatuurniveau, kosten etc. Deze worden samen met MMIP 4 voor de gebouwde omgeving opgepakt.

## 4.4 Financiering

De grootste uitdaging voor nieuwe procesttechnologie is het gebrek aan bewezen track-record. Betrouwbaarheid van processen is de belangrijkste randvoorwaarde, en nieuwe technologie moet dat nog gaan bewijzen. Financiering van demonstraties (investering en operatie) eventueel gekoppeld aan garanties voor uitval van het proces is daarom gewenst.

Bij restwarmtebenutting speelt vooral het vraagstuk hoe een sluitend businessmodel gevonden kan worden over de sectorgrenzen heen. Er is behoefte aan een rol en een verdienmodel tussen de aanbieder en de gebruiker van de warmte, en aan infrastructuur. Recente ervaringen met warmtenetten laten zien dat dit een complexe situatie is op het grensvlak van het publieke en het private domein.

## 5. Deelprogramma 2: Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag

### 5.1 Programmatische aanpak

De industriële energievraag bestaat voor het overgrote deel uit (~80%) uit warmte. Deze warmte is nodig om vele hoge temperatuurprocessen te laten plaatsvinden. Vooral voor de endotherme processen is dit van belang. In deze processen wordt voelbare warmte opgenomen en omgezet naar chemische energie. Bij de exotherme processen komt juist voelbare warmte vrij. Optimale integratie hiervan door middel van bijvoorbeeld pinch-analyse levert dan een minimaal energieverbruik op. Dit minimum wordt in veel gevallen niet gehaald omdat er integratieproblemen zijn zoals temperatuurniveau, locatie en tijdstip. Innovatie op dit gebied worden hier beschreven. Er zijn diverse technologieën om warmte op te waarderen. In het kader is een korte beschrijving opgenomen.

**Warmtewisselaar:** een warmtewisselaar brengt warmte van het ene medium over naar het andere

**Warmtepomp** (inclusief stoom recompressie, thermocompressie, damprecompressie): met behulp van een externe energiebron (meestal elektriciteit) wordt de temperatuur van een medium verhoogd.

**Warmtetransformator** (adsorptie-desorptie, thermo-akoestisch, ...): net als een warmtepomp verhoogt een warmtetransformator het temperatuurniveau van een medium. Transformatoren gebruiken echter geen externe energiebron, maar gebruiken de energie-inhoud van een medium om een deel van dat medium in temperatuur te verhogen.

#### 1. *Verlagen van de kostprijs en standaardisatie warmtepompen tot 150 °C.*

Het opwaarderen van restwarmte middels warmtepompen wordt in de industrie nog maar beperkt toegepast. Voornaamste reden hiervoor is de hoge investeringsprijs en daardoor een niet-aantrekkelijk terugverdiendtijd. De vereiste kostprijsverlaging kan behaald worden door vergaande standaardisatie toe te passen op specifieke vermogens. Dit zou kunnen leiden tot diverse seriematige productie van modulaire concepten voor vooral het lagere vermogenssegment (2-5 MW), waar ook de eerste marktintroductie kan gaan plaatsvinden. De markt voor hogere vermogens zal afgedekt kunnen worden door meerdere eenheden en uiteindelijk door op maat gefabriceerde installaties. Afhankelijk van het temperatuurgebied zouden dan verschillende werkmedia kunnen worden gebruikt in verder identieke installaties. Naast de geleverde uitgangstemperatuur is van belang dat warmtepompen kunnen omgaan met een verlopende ingangstemperatuur.

Dergelijke systemen moeten ontworpen en getest worden leidend tot een demonstratie op een industriële locatie. Daarnaast zou de kapitaalintensiteit voor de eindgebruiker kunnen verminderen door de ontwikkeling van nieuwe businessmodellen, waarbij bijvoorbeeld een serviceprovider de installatie bouwt, installeert en opereert, en betaald wordt voor de geleverde warmte.

#### 2. *Kosteneffectieve systemen met warmtepompen (incl. mechanische damprecompressie), warmtetransformatoren of warmteopslag*

Een warmteoplossing moet efficiënt en effectief opereren in een overall systeem. De inpassing van een dergelijke oplossing vereist een systeemaanpak. Mechanische damprecompressie kan bijvoorbeeld grote voordelen opleveren in scheidingen waarbij de kookpunten van de te scheiden componenten dicht bij elkaar liggen zoals in de etheen/ethaan en propeen/propaan destillatie. Up-to-date overzichten van technologie-opties bij specifieke processen zijn belangrijk om keuzes en implementatie te versnellen. Maatwerk is vereist voor elk van de industriële eindgebruikers om de mogelijkheden te identificeren die voor hun situatie en processen het meest duurzame en

kosteneffectieve systeem opleveren. Identificeren en wegnemen van andere belemmeringen voor het implementeren van reeds ontwikkelde technologie is verder essentieel. De inpassing van de gestandaardiseerde en modulaire installatie zal altijd bedrijf en locatie specifiek doordat iedere site anders is. Deze integratie heeft betrekking op systeemniveau, maar ook inpassing in het site besturingssysteem. Beschikbaarheid en betrouwbaarheid is hierbij ook van belang. Dit zal uiteindelijk leiden tot pilot en demonstratieprojecten op minimaal 10MW schaal.

### 3. Opschaling van innovatieve warmtepompen concepten voor >150 °C naar >1MWe

Compressiewarmtepompen zijn bijzonder geschikt voor het temperatuurgebied tot 150 °C. Voor hogere temperaturen zijn andere concepten nodig, zoals bijvoorbeeld de thermo-akoestische en sorptie gedreven warmtepompen. Deze technologische opties moeten nog uitontwikkeld en opgeschaald worden voordat de industriële pilot tests op een 1-5 MW schaal kunnen gaan plaatsvinden. Er zal hier vanaf het begin worden uitgegaan van een modulaire en gestandaardiseerde ontwerpstrategie. Dit omvat ook de benodigde aansturingsoftware en de inpassing daarvan in reguliere procesbesturingsprogramma's en in ontwerptools.

### 4. Uitrol van flexibele en slimme WKK

In een warmtekracht gekoppelde installaties (WKK) wordt de simultaan elektriciteit en warmte geproduceerd. Hierdoor kan een bijzonder hoog rendement behaald worden. Door de economische randvoorwaarden staat het verdienmodel van deze installaties op dit moment zwaar onder druk. Met name de levering van elektriciteit aan het net is niet attractief. Door aanpassingen in de wet en regelgeving kan dit weer rechtgetrokken worden. Hybridisatie van WKK's met elektrische boilers leidt tot gedeelte elektrificatie van de warmtevraag (een power-to-heat oplossing), hetgeen een essentiële stap is in de transitie naar een volledig elektrisch aangedreven energievoorziening.

Voor bestaande installaties geldt dat maximalisatie van het rendement door hybridisatie en combinatie met elektrische stoom generatoren een belangrijke rol speelt. Door een variabele warmtekracht verhouding die afhankelijk is van de actuele vraag en aanbod van warmte en elektriciteit kan de WKK langer economisch bedreven worden en tegelijk bijdragen aan het stabiliseren van een duurzaam elektriciteitssysteem.

### 5. Elektrisch drogen en verwarmen

Elektrisch drogen en verwarmen kan een duurzaam alternatief zijn voor huidige gasgestookte processen. Elektrische droogprocessen en verwarmingsprocessen tot 500 °C zijn in een aantal gevallen beschikbaar, maar onder de huidige Nederlandse marktcondities niet concurrerend. Omdat dit naar de toekomst toe kan veranderen, door dalende elektriciteitsprijzen, hogere CO<sub>2</sub>-prijzen of door andere prikkels in de markt, worden deze ontwikkelen van technologie in het buitenland op de voet gevolgd. In een aantal geval leidt elektrificatie van het droogproces tot verbeterde productkwaliteit en tot verduurzaming. In dat geval is ombouw naar elektrische processen wel een kosteneffectieve oplossing.

Boven de 500 °C is het aantal kant en klare oplossingen zeer klein en zijn ze specifiek voor bepaalde processen. Vanuit dit deelprogramma zullen gerichte ontwikkelingen gestart worden naar alternatieven voor dergelijke verwarmingsprocessen.

### 6. Flankerende opdrachten

De verduurzaming van het warmtesysteem wordt gekenmerkt als uitdaging zonder eigenaar. Warmte is voor vrijwel alle *industrieën* van belang, maar voor vrijwel niemand core-business. Daarom is van belang om niet alleen technologie-opties te ontwikkelen, maar via flankerende studies en opdrachten kennis te verzamelen, toegankelijk te maken en te verspreiden. Daarnaast worden gerichte ontwikkeltrajecten opgezet voor marktmodellen, rollen in het warmtesysteem van de toekomst en prikkels die verduurzaming van warmtehergebruik en -opslag versnellen.

Tabel A Deelprogramma 7.2 – Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag: concretisering innovatieopgaven per deelprogramma

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	
<b>7.2a: Verlagen van de kostprijs en standaardisatie warmtepompen tot 150 °C.</b>	Warmtepompen op 150 °C werktemperatuur voor €150/kWt output breed uitgerold.	Standaardisatie en seriematige productie door bundeling van vraag en ontwikkeling van modulaire concept	X	X				↔		SCA, SOP
		Selectie werkmedia voor verschillende werktemperaturen	X				↔			SKT
		Ontwikkeling leverings- en servicemodellen	X	X				↔		SKS
		Demonstraties van gestandaardiseerd model in systeem		X	X			↔		SCA
<b>7.2b: Kosteneffectieve systemen met warmtepompen, mechanische dampcompressie of warmteopslag.</b>	Een industrieel-breed gedragen technologie-portfolio voor warmte.  25% van potentiële besparing met deze technologie in de industrie is bereikt	Identificeren wegnemen belemmeringen voor het implementeren van reeds ontwikkelde technologie	X	X	X				↔	SKS
		Selectietool voor technologie-opties bij specifieke processen	X	X				↔		SCA
		Vorbereiding bedrijfsspecifieke inpassing van warmte-integratie concepten: total design, systeemintegratie, processturing, betrouwbaarheid	X	X				↔		SKS, SCA
		5 pilots per sector van 10 MWth, waarvan 1 project >100 MWth in komende 5 jaar. Focus hierbij op MVR (o.a. stoomrecompressie).		X	X			↔		SCA, SOP
<b>7.2c: Opschaling van innovatieve warmtepompen concepten voor &gt;150 °C naar &gt;1MWe</b>	5 industriële implementaties met een totaalvermogen van 100 MWth.	Doorontwikkeling en opschaling van innovatieve warmtepompconcepten.	X	X						SKT
		Pilot testen en demonstreren van 1-10 MWth systemen	X	X	X		↔	↔		SCA, SOP
		Ontwikkeling van softwaremodules voor warmtepompen in reguliere procesbesturingsprogramma's en in ontwerptools.	X	X			↔			SKT
<b>7.2d: Uitrol van flexibele en slimme WKK</b>	2 industriële sites met slimme sturing van gehele energiesysteem (aanbod en vraag)	Conceptontwikkeling en demonstratie van hybridisatie van WKK met e-boilers, gericht op minimale CO <sub>2</sub> -emissie in het warmtesysteem.	X	X	X			↔		SOP, GAR
		Nieuwe business- en servicemodellen voor de rol van WKK bij balanceren van een duurzaam elektriciteitssysteem	X	X				↔		SKS

7.2e: Elektrisch drogen en verwarmen tot 500 °C	Elektrisch drogen en verwarmen tot 500 °C is beschikbare technologie	Applicatie-onderzoek naar gericht elektrisch drogen voor CO <sub>2</sub> -emissiereductie	X	X	X	↔		SKT
		Technologieverkenning naar beschikbaarheid elektrische verwarmings- en droogprocessen in buitenland	X	X	X		↔	SKS
7.2f: Elektrisch verwarmen > 500 °C	Concepten voor HT elektrisch verwarmen zijn ontwikkeld	Ombouw hoge temperatuur ovens naar elektrische ovens i.c.m. productkwaliteit	X			↔	↔	SKT, SCA
7.2g: Flankerende opdrachten		a) Toegankelijk maken van know-how voor uitrol mechanische damprecompressie en andere warmte technologie b) Kennisverspreiding van warmtetechnologie en integratie	X				↔	SKS

**Legenda voor kleuren:** donkergroen = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; groen = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; lichtgroen = lage prioriteit, mogelijk later opnemen;

Tabel B deelprogramma 7.2 – Warmte-hergebruik, -opwaardering en -opslag: toelichting prioriteiten per deelprogramma

Innovatieopgave	Prioriteit	Toelichting
7.2a: Verlagen van de kostprijs en standaardisatie warmtepompen tot 150 °C.	Hoog	Nederland heeft een lange historie in de ontwikkeling van industriële warmtepompen. De laatste 5 jaar zijn grote stappen gezet richting standaardisatie en vraagbundeling, door een consortium van kennispartijen, innovatieve maakbedrijven en eindgebruikers. Na succesvolle piloting van compressiewarmtepompen op honderden kW schaal, zijn nu kostenverlaging en marktcreatie voor MW-schaal warmtepompen de bepalende stappen.
7.2b: Kosteneffectieve systemen met warmtepompen, mechanische dampcompressie of warmteopslag.	Hoog	Warmtepomptechnologie kan alleen functioneren in een goed ontworpen warmtesysteem. Nederlandse engineering bedrijven en eindgebruikers zijn van oudsher sterk in het optimaliseren van fabrieken en sites voor energie-efficiency. Het ligt daarom zeer voor de hand dat Nederland koploper kan worden in geïntegreerde warmte-concepten. De bereidheid van eindgebruikers om deze technologie toe te passen is sterk bepalend. Het is daarom van belang dat in 2019 een project is toegekend van TNO met een groot consortium van gebruikers en leveranciers, en dat parallel ISPT een platform heeft gestart voor kennisdeling en vraagbundeling rond warmtetechnologie.
7.2c: Opschaling van innovatieve warmtepompen concepten voor >150 °C naar >1MWe	Middel	De ontwikkelingen omv innovatieve concepten die vanuit ECN (nu TNO) ontwikkeld zijn, zoals thermochemische en thermo-akoestische warmtepompen zijn wereldwijd toonaangevend. Voor temperaturen boven 150°C zijn innovatieve concepten essentieel. In Nederland is interesse van maakbedrijven en eindgebruikers, toepassing is voorzien na 2030.
7.2d: Uitrol van flexibele en slimme WKK	Hoog	Bestaande warmte-kracht installaties (WKK's) op industrie sites worden financieel steeds minder aantrekkelijk, door de prijsdruk op de elektriciteitsmarkt. Tegelijk is de WKK een zeer efficiënte manier van warmte- en elektriciteitsopwekking. Wanneer hybride concepten met elektrische boilers en/of warmteopslag toepasbaar worden, kunnen WKK's langer in bedrijf blijven en zo een rol spelen in geleidelijke elektrificatie. Nederlandse elektriciteitsbedrijven, NWEA en een aantal eindgebruikers hebben interesse in een dergelijk concept. De tariefstructuur van de elektriciteitsaansluiting en de mate van complexiteit bij de integratie van een elektrische boiler of warmte-opslag zijn sterk bepalend voor de financiële haalbaarheid.
7.2e: Elektrisch drogen en verwarmen (onder 500 °C)	Laag	Het innovatiesysteem voor elektrische drogen en verwarmen is in Nederland nu zwak omdat er nog geen vraag naar dergelijke opties is. In landen waar elektriciteit historisch goedkoper was, zijn dergelijke innovaties sterker ontwikkeld. Een aantal technologie-opties zijn nu al beschikbaar op relevante schaal, maar alleen realistisch bij lagere elektriciteitsprijzen en voldoende beschikbaarheid hernieuwbare energie. In sommige gevallen is nog een schaalstap nodig voor de Nederlandse toepassingen. De strategie zou hier moeten zijn om innovaties uit het buitenland te blijven screenen, en waar nodig naar Nederland te halen.

7.2e2: Elektrisch verwarmen (> 500 °C)	Hoog	Elektrisch verwarmen voor processen met zeer hoge temperaturen (>500°C) is een bekende optie voor glas- en keramiekindustrie. Voor grootschalige chemische processen (kraken, reformen) is het nog niet toepasbaar. Sinds een paar jaar heeft een groep (petro)chemische bedrijven veel interesse in elektrisch verwarmen op dit temperatuurniveau. Een internationaal consortium, onder de trilaterale samenwerking is in oprichting, naast nationale consortia. Dit is een optie voor de lange termijn, die vanwege de lange aanlooptijd voor dergelijke grootschalige processen nu al moet worden opgestart. Naast technische uitdagingen speelt hier de business case van directe elektrische verwarming een grote rol.
7.2f: Flankerende opdrachten	Hoog	Flankerende studies zijn nodig om ontwikkelingen op het niveau van industrieclusters te matchen met de verschillende technologiepaden. Naast de druk om processen te verduurzamen, zullen autonome ontwikkelingen van de markt grote impact hebben op de benodigde innovaties.



## 5.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

De realisatie van CO<sub>2</sub> vrije warmte in de industrie vraagt samenwerking over het gehele ontwikkeltraject alsook in de keten. Aan het begin van het ontwikkeltraject moet men weten welke uitdagingen er liggen bij de implementatie. Voor de industrie is het belangrijk om tijdig de kansen te signaleren uit het fundamentele onderzoek, zodat zij stimuleren dat deze tot hogere TRL-niveaus worden opgeschaald. Op TRL-niveau 4-7 is samenwerking, betrokkenheid en medefinanciering van technologieleveranciers cruciaal. De doelen worden pas gehaald wanneer de nieuwe technologieën en concepten worden geïmplementeerd in de industrie. Bij implementatie is samenwerking met systeemintegratoren en consultants nodig die kennis hebben van alle aspecten, en in staat zijn om de industrie te helpen bij het maken van de keuze voor meest efficiënte (combinatie van) technologieën, en bijbehorende sturing. Systeemintegratoren en consultants zullen hiertoe ook al in een eerdere fase in de ontwikkeling betrokken moeten zijn om de benodigde kennis op te doen.

Tijdens het ontwikkeltraject zal tijdig geïdentificeerd moeten worden welke niet-technologische aspecten voorwaardelijk zijn voor succes bij implementatie. Zoals regionale energie-infrastructuur, subsidies, vergunningen, etc. Betrokkenheid van de relevante overheidsdepartementen (nationaal en regionaal) is van belang vanaf het moment dat de opschaling begint.

## 5.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Veranderingen in de industriële warmtevoorziening spelen zich vrijwel volledig af binnen het hek en hebben daarmee weinig tot geen invloed op de omgeving. Voor zover er invloed is op de uitkoppeling van warmte wordt dit meegenomen in deelprogramma 7.5. Elektrificatie van warmte kan invloed hebben op de netaansluiting. Waar relevant worden netbeheerders daarom meegenomen in de innovatietrajecten.

## 5.4 Financiering

De transitie naar nieuwe warmtetechnologie vraagt om grote investeringen in de industrie. Er is ondersteuning nodig voor bedrijven en projecten waar dit type investeringen niet duidelijk tot sluitende business cases leidt. Knelpunten zijn lange terugverdientijden, hoog risicoprofiel en onbekendheid in de markt. Met name bij projecten voor 'First of a Kind' toepassingen of opschaling speelt de overheid een rol om de gewenste ontwikkeling financieel te stimuleren en daarmee de transitie te versnellen. Bij specifieke locatiegebonden pilot- en demonstratiefaciliteiten speelt iets vergelijkbaars. Ze zijn intrinsiek niet rendabel, maar wel noodzakelijk om de ontwikkelingen te versnellen.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Marsroutes document pagina 24

## 6. Deelprogramma 3: Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie

### 6.1 Programmatische aanpak

#### 1. Uitvoeren van proefprojecten voor ultradiepe geothermie.

Vanwege het gebrek aan geologische data van de ultra diepe ondergrond (> 4 km) is de kans op succes voor het economisch rendabele projecten op dit moment laag. EBN voert de komende jaren samen met TNO een nationaal onderzoek uit om vast te stellen waar de ondergrond in Nederland mogelijk geschikt is voor (Ultra diepe) aardwarmtewinning. Het doel van dit nationale onderzoek is om de kennis over de ondergrond te vergroten om zo antwoord te kunnen geven op de vraag óf en zo ja, waar de ondergrond in Nederland mogelijk geschikt is voor aardwarmtewinning. Met deze kennis kan het potentieel van aardwarmte in Nederland beter worden ingeschat en de ontwikkeling van UDG-projecten worden versneld. De Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) is gestart in 2019. Nadat de resultaten SCAN bekend worden in 2020 worden de meest kansrijke regio's geselecteerd voor proefboringen. Dit is een noodzakelijke stap om het potentieel voor UDG daadwerkelijk aan te tonen en daarmee investeringen van marktpartijen in UDG-projecten mogelijk te maken. Daarbij moet de maatschappelijke impact vanaf het begin van het traject ingebouwd zijn in de proefprojecten. Transparantie over risico's, gebruikte technieken en regionale gevolgen (positief en negatief) moeten helder worden meegenomen.

Technische uitdagingen zijn onder andere het verder in kaart brengen van de ondergrond (exploratietechnieken), innovatieve boormethoden, stimulatieconcepten, productieoptimalisatie en het begrijpen en beheersen van ongewenste milieurisico's zoals seismiciteit en lekkage. Daarnaast is behoefte aan businessmodellen die de kosten maar vooral de risico's tussen gebruikers spreiden, zodat financiering haalbaar gemaakt wordt.

Tenslotte is koppeling aan elektriciteitsproductie mogelijk (link met MMIP 2 en 4). Al deze elementen moeten vervolgens een plek vinden in innovatieve businessmodellen.

#### 2. Demonstreren conventionele geothermie voor proceswarmte met warmtepompen en warmtesystemen.

Voor conventionele geothermie (0,5–4 km) is de kans op voldoende productie beter in te schatten. De temperaturen van conventionele projecten liggen lager (60 – 100 °C). Deze temperaturen kunnen worden opgekrikt naar 130 – 180 °C via warmtepompen. Maar ook in dit geval is behoefte aan een systeemoptimalisatie van productie en afname en distributie via warmtenetten.

#### 3. Slimme combinaties van geothermie met warmte-opwaarding en -opslag

Geothermie kan via warmte-opwaarding en -opslag van grotere waarde worden voor industriële afnemers. Via warmtepompen of -transformatoren kan de warmte op een meer passend temperatuurniveau worden gebracht, waardoor de kosten voor integratie in de fabriek lager kunnen uitpakken. Bovendien kan warmteopslag een rol spelen bij het flexibeler aanbieden van warmte, bijvoorbeeld in combinatie met power-to-heat oplossingen. Deze innovatieopgave behandelt daarmee het systeemperspectief van geothermie, technologisch en regionaal. Naast deze integratie-aspecten zijn innovatieve monitoringsystemen van belang om de betrouwbaarheid te garanderen.

Tabel A Deelprogramma 7.3 – Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie: concretisering innovatieopgaven per deelprogramma

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	
7.3a: Uitvoeren van proefprojecten voor ultradiepe geothermie.	2-3 UDG-demo's voor proceswarmte industrie (100-200 °C)	Ontwikkeling proefboringen op grote diepten, inclusief productietest, completie & stimulatie)		X			↔			SKS, SCA, GAR
		Uitbreiding van de warmtekaart, inzicht in horizontale en verticale breuklijnen en geleidbaarheid door bodemonderzoek van diepe ondergrond (tot 6 km), voor beperking van technische en maatschappelijke risico's	X	X				↔		SKS
		Ontwikkeling duurzame productie (monitoring en control) en optimalisatie productietechniek (componenten, werkvloeistof, corrosie en scaling)		X			↔	↔		SKT
		Ontwikkeling 'collectief ondernemerschap' businessmodel voor gezamenlijke investering bedrijven en gemeenten.			X			↔		SCA, GAR
		Maatschappelijke risico's in kaart brengen in multi-stakeholder aanpak, en opties hoe deze te ondervangen; ontwikkeling en validatie van software voor voorspelling gevolgen in de ondergrond.	X				↔	↔		SKT, SKS
		Seismiciteit – onderzoek naar fractured reservoirs	X	X	X				↔	SKT
7.3b: Demonstreren conventionele geothermie voor proceswarmte met warmtepompen en warmtesystemen.	Ondiep (tot 2500 m) 20 projecten gerealiseerd met koppeling 4 <sup>e</sup> generatie warmtenetten	Ontwikkeling van showcaseprojecten en doen van risicoanalyses voor seismische activiteit.	X	X			↔		SKT, SCA	
		Beschikbaarheid warmtenetten en afnemers in kaart brengen en koppelen aan beschikbare warmte	X					↔	SKS	
		Temperatuurkeuze en netoptimalisatie voor 4e generatie warmtenetten, flexibel inkoppelen andere bronnen	X	X			↔		SKT	
7.3c: Slimme combinaties van geothermie met warmte-opwaardering en -opslag	2-3 combinaties met stoomrecompressie gerealiseerd  3-4 combinaties met WKO-opslag of energy piles gerealiseerd	GEO XL conceptontwikkeling: combinatie van UDG en stoomrecompressie, combinatie met stadsverwarming		X	X		↔		SKT, GAR	
		Ontwikkeling monitoringsysteem voor combinaties van UDG en industriële gebruikers met bijvoorbeeld grondradar, tiltmeters, en/of periodieke drone inspecties			X		↔	↔	SKT	
		Maatschappelijke betrokkenheid vergroten via showcases o.a. door voorlichting en stakeholder sessies en innovatieve participatiemodellen		X	X				↔	SKS

**Legenda voor kleuren:** donkergroen = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; groen = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; lichtgroen = lage prioriteit, mogelijk later opnemen

Tabel B Deelprogramma 7.3 – Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie: toelichting prioriteiten per deelprogramma

Innovatieopgave	Prioriteit	Toelichting
7.3a: Uitvoeren van proefprojecten voor Ultra-diepe geothermie.	Middel	Het SCAN programma door EBN en TNO zal inzicht geven in het potentieel voor ultra-diepe geothermie. Er is in Nederland vrij veel ervaring met boren in de ondergrond, door olie- en gaswinning en Nederland heeft een sterke bedrijven op dat gebied. De kennisdeling op het gebied van geothermie is goed georganiseerd. Met name beleid en omgevingsfactoren zullen bepalend zijn voor de snelheid die behaald kan worden.
7.3b: Demonstreren conventionele geothermie voor proceswarmte met warmtepompen en warmtesystemen.	Hoog	Voor conventionele geothermie is veel lokale trekkracht bij gemeenten en glastuinbouwers. Het is de verwachting dat veel Regionale EnergieStrategieën (RES) hier ook op inzetten. De koppeling naar proceswarmte voor industriële processen op lagere temperaturen (<200°C) eventueel met warmtepompen zou een logisch vervolgstap zijn. Dergelijke processen zijn vaak te vinden bij voedings- en papierindustrie, en bijv. rubber- en kunststofverwerkende industrie. Deze fabrieken bevinden zich vaak buiten de industrieclusters, waardoor geothermie een passende oplossing zou kunnen zijn.
7.3c: Slimme combinaties van geothermie met warmte-opwaardering en -opslag	Hoog	De goede kennisbasis van de ondergrond, en de ervaringen op het gebied van warmte-integratie (opslag, warmtepompen) bieden Nederland een prima startpositie om geothermie te integreren in warmtesystemen. Er zijn activiteiten van Nederlandse ondernemers, en Nederland loopt in Europa voorop op het gebied van warmte-integratie.

## 6.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

Gezien de benodigde grote investeringen in onderzoek, pilot en demonstratie is het belangrijk dat alle stakeholders in één nationaal programma samenwerken, zoals nu wordt gedaan in de Green Deal UDG en het SCAN-programma. Beide programma's worden gecoördineerd door EBN. Een programmatische aanpak van de ontwikkeling van UDG-projecten (4 – 10 km) is gewenst. Wel is het belangrijk te waken dat door coördinatie door één of twee nationale partijen geen beperking wordt veroorzaakt in de technologieën die worden ontwikkeld en gedemonstreerd. Om versnelling in de ontwikkeling en implementatie te verkrijgen zal te allen tijde continu de internationale stand der techniek bewaakt worden en is betrokkenheid van industrie noodzakelijk.

## 6.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Specifiek bij geothermie spelen ruimtelijk factoren een grote rol. Geothermie is niet op alle locaties in Nederland technisch en/of financieel haalbaar. Uitbreiding van de kennis omtrent het potentieel is van UDG is noodzakelijk. Het potentieel wordt bepaald door zowel de geologische geschiktheid als de bovengrondse warmtevraag & temperatuurniveau en de aanwezigheid van warmtenetten (cascadering). De kennis van de ondergrond wordt publiek gemaakt via [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl) en ThermoGis. Door het ondergrondse potentieel te combineren met warmtevraag kan het potentieel voor UDG voor het verduurzamen van de industriële warmtevraag worden geoptimaliseerd.

Het begrijpen en beheersen van risico's en ongewenste milieueffecten zoals seismiciteit en lekkage van putten is belangrijk. Gezien de onrust over andere projecten die te maken hebben met de ondergrond, zoals gaswinning en gasopslag zou ook een geothermieproject door omwonenden, waterschappen en/of drinkwaterbedrijven als risicovol gezien kunnen worden. Het is daarom belangrijk dit tijdig te mee te nemen in de ontwikkeling van deze projecten. Hiervoor worden participatiemodellen ingezet die ontwikkeld zijn voor CCS en grootschalige toepassing van zonne- en windenergie. Daarnaast wordt gewerkt aan monitoringtechnieken, en de ontwikkeling van veilige stimulatietechnieken voor UDG voor als de natuurlijke productie tegenvalt.

## 6.4 Financiering

Verfijning van de SDE++ voor aardwarmte kan een belangrijke factor zijn om financiële haalbaarheid te waarborgen, passend bij de toepassing, de waardeketen en het ondernemersrisico. Bij windenergie is de hoogte van de SDE afgestemd op het windpotentieel (offshore, onshore etc). Het verdienmodel voor de industrie is afhankelijk van de mogelijkheid tot inzet van cascadering en/of opwaardering (met warmtepompen) van warmte, incl. warmtelevering aan de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Hiervoor zijn samenwerkingsverbanden vereist tussen stakeholders uit de industrie en warmtenetwerken/-gebruikers. Mitigatie van het ondergrondse financiële risico voor exploratie vereist een portfoliobenadering en collectieve aanpak in proefprojecten met publieke en private stakeholders en kennisinstellingen.

## 7. Deelprogramma 4: Toepassing klimaatneutrale brandstoffen

### 7.1 Programmatische aanpak

Naast elektrische warmteproductie, kan warmte ook worden verkregen via verbranding van duurzame brandstoffen. Deze route kan voor de korte termijn een tussenoplossing bieden voor snelle verduurzaming van warmteopwekking, of als oplossing voor procesopties die ook op langere termijn niet via elektriciteit verwarmd of vervangen kunnen worden door processen zonder warmte. De nadruk ligt in dit deelprogramma op het technisch haalbaar maken van gebruik van deze brandstoffen. De economische haalbaarheid is sterk afhankelijk van de ontwikkelingen bij de productie van deze brandstoffen (MMIP 6 en 8). De volgende innovatieopgaven zijn hiervoor geformuleerd:

#### 1. *Verbrandingstechnologie voor innovatieve brandstoffen*

Verbranding van brandstoffen zonder koolstof voorkomt de uitstoot van CO<sub>2</sub> tijdens het verbrandingsproces. Voor zover de brandstof zelf ook zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt geproduceerd, is dit een klimaatneutrale route naar hoge temperatuur warmte. Voorbeelden van zulke brandstoffen zijn waterstof, ammoniak en mogelijk ook metalen. In dit deelprogramma gaat het om de verbrandingsprocessen zelf, dus om de invloed van dergelijke brandstoffen op de warmteverdeling en warmteoverdracht en op de uitstoot van NO<sub>x</sub>. In het geval van metal fuels is met name het verbrandingsproces van belang. De productie van de brandstof en het sluiten van de cyclus worden behandeld in MMIP 8.

#### 2. *Verbrandingstechnologie voor biobased brandstoffen voor HT-warmteproductie*

De technologie voor verbranding, vergassing en pyrolyse van hout en andere relatief homogene biomassastromen is uitontwikkeld en beschikbaar. Er is echter nog een diversiteit aan heterogene reststromen waarvan het potentieel nog niet wordt volledig benut. Pyrolyse en vergassing zijn belangrijke basistechnologieën om dergelijke stromen om te zetten in nuttige warmte.

Onder MMIP 6 worden dergelijke processen verder ontwikkeld ten behoeve van de levering van basiscomponenten voor duurzame chemicaliën, mogelijk via co-processing in bestaande naftakrakers. In de transitie naar deze hoogwaardigere toepassing is het belangrijk om een robuuste technologie voor de pyrolyse en vergassing van heterogene biogene reststromen te ontwikkelen waarbij de geproduceerde duurzame warmte nuttig kan worden ingezet.

#### 3. *Demonstratie van proces-geïntegreerde warmte uit groen gas en biomassa.*

Vergisting en vergassing van biobased reststromen leidt tot gasstromen die kunnen worden opgewerkt tot groen gas specificatie, maar die ook direct kunnen worden ingezet. Deze innovatieopgave is gericht op integrale concepten voor gasproductie, (deel)opwerking en gebruik voor hoge temperatuurwarmte, waarbij minimaliseren van CO<sub>2</sub>-emissie leidend is. Naast deze koolstof-efficiency levert deze innovatieopgave mogelijkheden voor lokaal en kleinschalig gebruik van reststromen.

Tabel A Deelprogramma 7.4 – Toepassing klimaatneutrale brandstoffen: concretisering innovatieopgaven per deelprogramma

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	
<b>7.4a: Verbrandingstechnologie voor innovatieve brandstoffen</b>	Schone verbrandings-technologie beschikbaar voor H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , en andere innovatieve brandstoffen zoals metal fuels	Studie naar barrières voor uitrol (o.a. NO <sub>x</sub> , rookgasreiniging, verbrandingsstabiliteit, flashback, thermoakoestiek, unbrunt fuel slip)	X						↔	SKS
		Modellering en validatie van reacties, massa- en warmteoverdracht bij innovatieve brandstoffen		X	X	↔	↔			SKF, SKT
		Studie naar ombouw HT ovens naar waterstof: warmteverdeling, levensduur, efficiency en invloed op kwaliteit van product (o.a. reducerende omstandigheden)	X	X			↔	↔		SKT
<b>7.4b: Verbrandingstechnologie voor biobased brandstoffen voor HT warmteproductie</b>	Verbrandingstechnologie uitontwikkeld en toegepast voor laagwaardige biomassastromen, biogas, bio-residu-stromen uit bioraffinage	Implementatie en optimalisatie voor specifieke stromen	X					↔		SOP
		Toepasbaar maken van laagwaardige biomassa-reststromen en bioraffinage-residuen en procesoptimalisatie naar hogere efficiency, lagere kosten	X	X			↔			SKT
<b>7.4c: Demonstratie van proces-geïntegreerde warmte uit groen gas en biomassa.</b>	Efficiënte opties voor proces-geïntegreerd gebruik van laagwaardige biomassa reststromen toegepast	Ontwikkeling van integrale concepten voor warmteproductie waarin productie, opwerking en toepassing optimaal gekoppeld zijn.	X				↔			SKT
		Demonstratie van 3-5 biomassavergassings en/of pyrolyse opties voor proceswarmte met beperkte gasreiniging/-opwerking		X	X			↔		SCA, SOP

**Legenda voor kleuren:** donkergroen = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; groen = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; lichtgroen = lage prioriteit, mogelijk later opnemen;

Tabel B Deelprogramma 7.4 – Toepassing klimaatneutrale brandstoffen: toelichting prioriteiten per deelprogramma

Innovatieopgave	Prioriteit	Toelichting
7.4a: Verbrandingstechnologie voor nieuwe brandstoffen.	Middel	Aan Nederlandse universiteiten en bij TNO is kennis aanwezig, en er zijn een aantal innovatieve MKB bedrijven die oplossingen op de markt hebben voor nieuwe brandstoffen. De belangrijkste stap is om de benodigde schaal te bereiken. Op dit moment is er onvoldoende vraag uit de markt om verder op te schalen, maar de verwachting is dat deze vraag zal groeien met het opschalen van groene waterstof.
7.4b: Verbrandingstechnologie voor biobased brandstoffen voor HT warmteproductie	Hoog	Voor diverse industriële verwarmingsprocessen op kleinere schaal is bij bedrijven behoefte aan verbrandingstechnologie voor biobased brandstoffen. De brandertechnologie is vaak al bekend en ondernemers zijn al in Nederland actief, maar inpassing in het proces is nog een uitdaging. Biomassa kan met name voor de korte termijn een rol spelen in de verduurzaming van hoge-temperatuur processen, voor elektrificatie van processen interessanter wordt.
7.4c: Demonstratie van proces-geïntegreerde warmte uit groen gas en biomassa.	Middel	Nederland heeft veel activiteiten op het gebied van groen gas productie en opwerking, met name voor vervanging van aardgas. De volgende uitdaging is om proces-geïntegreerd warmte te produceren uit reststromen van biomassa of niet-opgewerkt groen gas. Eerste activiteiten in die richting zijn gestart, maar de vraag van eindgebruikers blijft nog achter



## 7.2 Stakeholders/actoren – samenwerking

Dit deelprogramma is sterk afhankelijk van de productie van biobrandstof en waterstof of van waterstof afgeleide brandstoffen, die in MMIP 6 en 8 plaatsvindt. De innovaties die hier beschreven staan moeten daarom in samenwerking met de stakeholders aan de productiekant worden ontwikkeld. Het technologie-aanbod is veelal wel aanwezig, maar de inpassing in processen en de opschaling verdienen aandacht. De keten van technologie-aanbod en gebruik moet daarom gekoppeld worden met het aanbod van brandstof. Energie- en koolstof-efficiency over de totale keten moet daarom het uitgangspunt zijn.

## 7.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Voor het verbranden en/of vergassen van biomassa en het produceren van biogas uit mest is het relevant rekening te houden met potentiële maatschappelijke en potentieel regionale weerstand.

Op Europees niveau zijn de industriële sectoren inmiddels gewaarschuwd dat energie uit biomassa in 2030 niet meer als CO<sub>2</sub>-neutraal zal worden beschouwd. Bedrijven en sectoren die op grote schaal biomassa inzetten als energiebron (en daarmee onder de huidige normen CO<sub>2</sub>-neutraal zijn) worden hiermee gedwongen energie-efficiency maatregelen te treffen. Het huidige Europese voorstel is dat de helft van de CO<sub>2</sub>-emissiereductie wordt bereikt met duurzame energie, de andere helft zal moeten worden bereikt door energiebesparing. Op korte en middellange termijn is de inzet van biomassa voor energie nog wel cruciaal om aan de doelstellingen te voldoen.

Voor procesgeïntegreerde inzet van biomassa reststromen, en voor bioenergie in combinatie met CCS (BECCS) blijft mogelijk wel ruimte in het beleid. De omvang van reststromen voor energietoepassingen zal relatief beperkt blijven. Voor BECCS is een sterke afhankelijkheid van de mate waarin CCS zal worden ingezet en waar CO<sub>2</sub>-infrastructuur beschikbaar komt.

## 7.4 Financiering

Dit deelprogramma is sterk afhankelijk van tijdelijke financiering van de onrendabele top voor de uitrol. Dit betekent dat bijvoorbeeld de SDE++ zodanig gestuurd zou moeten worden om waterstof en biomassa reststromen te bevoordelen boven fossiele warmteopwekking. Tegelijk moet goed onderbouwd worden hoe deze innovaties zich verhouden tot energiebesparing en/of elektrificatie, zodat lock-ins of inefficiënties worden gestimuleerd.

## 8. Deelprogramma 5: Stelsystemconcepten voor warmte en koude

### 8.1 Programmatische aanpak

Behalve de ontwikkeling van specifieke technologieën is een systeembenadering vereist om tot een optimaal en energie-efficiënt warmte- en koudesysteem te komen. Dit geldt voor sites van relatief beperkte omvang, maar zeer zeker ook voor grote industriële complexen. Een structurele en overkoepelende aanpak die focust op een stabiel warmtesysteem met variabel vraag en aanbod is dan van het grootste belang.

#### 1. Ombouw naar CO<sub>2</sub>-vrije productielijnen

De ombouw van het industriële warmtesysteem vraagt om een programmatische aanpak, die nog ontwikkeld moet worden. Belangrijke elementen daarin zijn: beschikbaar maken van het portfolio aan innovaties, organiseren van een loketfunctie en toegankelijk maken van financiële instrumenten. Concrete deliverables van een dergelijk loket omvat de opzet van fact-sheets van CO<sub>2</sub>-neutrale warmtetechnologie en het organiseren inkoopvolume via vraagbundeling. Naast de loketfunctie is behoefte aan engineering en analyse van het energiesysteem van fabrieken, sites en clusters op basis van functie.

#### 2. Herontwerp van energiesysteem industrie sites

Grote industriële sites kunnen sterk geïntegreerd zijn. Utilities zijn meer dan alleen maar gas, elektriciteit en water. Vaak worden ook warmte en waterstof aangeleverd via een centraal systeem. Hiervoor kunnen aparte installaties worden gebruikt. Echter zeker ook voor de warmtevoorziening worden hoge temperatuurprocessen gebruikt om een stoomsysteem te voeden. Een stabiel warmte leverend systeem is via de stoombalans een vitaal onderdeel van een dergelijk industrieel proces. Uitkoppeling naar de gebouwde omgeving is ook onderdeel van een dergelijk overal systeem. Om dit complexe systeem te rationaliseren is de ontwikkeling van *digital twins* als optimalisatietool een welkome aanvulling. Hiermee kunnen de consequenties van specifieke retrofit opties worden door gerekend. Een lokaal warmte besparende optie kan op systeem-niveau tot een hogere warmtevraag leiden. Ook kan een inschatting gemaakt worden van de voor en nadelen van centrale en lokale onderdelen voor het warmtesysteem. Voor een stabiel systeem is de betrouwbaarheid van zowel de levering als afname en inpasbaarheid van fluctuaties in de procesvoering van het grootste belang.

#### 3. Verkenning van warmte en koude voor energieopslag en flex-capaciteit

In een energiesysteem dat gedomineerd wordt door een voorspelbare en variabele, maar slecht beïnvloedbare bronnen is de opslag van energie van het grootste belang. Dit gaat over elektrische energie, maar ook over thermische energie. Opslag van thermische energie kan o.a. in waterbuffervaten, materialen die een faseovergang meemaken, ondergronds, en met chemische reacties. Een technologisch onderzoek moet inzicht geven in de combinatie van temperatuur, vermogen, capaciteit, en tijdsduur per optie verschilt. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in het toepassingsgebied van diverse warmte en koudeopslagopties. Door deze te koppelen aan een marktverraag kunnen ontwikkelingstrajecten van industriële warmte- en koudeopslag worden opgezet.

#### 4. Collectieve besluitvorming in socio-technische transitieprocessen

Naast technologische uitdagingen bestaan de innovatietrajecten in de industrie uit diverse socio-technische vraagstukken. Rond de uitrol en schaalvergroting van individuele technologie gaat acceptatie binnen en buiten de industrie en grote rol spelen, wordt inkoopgedrag van groot belang, en worden diverse organisatievraagstukken en nieuwe rollen van bedrijven bepalend. Binnen deze lijn worden deze vragen geïdentificeerd op verschillende niveaus: bedrijven, industrieclusters, regio's inclusief stakeholders rond de industrie. Om deze vragen te adresseren worden tools ontwikkeld en social labs opgezet waarbinnen ook mogelijke oplossingen worden gepilot.

Tabel A Deelprogramma 7.5 – Systemconcepten voor warmte en koude: concretisering innovatieopgaven per deelprogramma

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	
<b>7.5a: Programmatische aanpak voor quick-wins: ombouw naar CO<sub>2</sub>-vrije productielijnen</b>	Programma-aanpak ontwikkeld voor uitrol en inpassing van beschikbare technologieën	Ontwikkelen fact-sheets van CO <sub>2</sub> -neutrale warmtetechnologie	X	X				↔		SKT
		Organiseren vraagbundeling	X	X					↔	SKS
		Engineering van efficiënte energiesysteem fabrieken, sites en clusters op basis van functie	X	X	X			↔		SKT, SCA
<b>7.5b: Herontwerp van energiesysteem industrie sites</b>	Optimale warmte-re-integratie van 5 industrieclusters in NL gericht op innovaties	Site-specifieke studies en retrofit opties	X	X	X			↔		SKT
		Ontwerp van model voor regie van leverings- en afnameverplichtingen (cultuuraspecten, flexibiliteit).	X	X					↔	SKS
		Ontwikkeling van digital twins als optimalisatietool	X	X	X		↔	↔		SKT
		Ontwikkelen van alternatieven voor centrale onderdelen van het warmtesysteem in de industrie			X				↔	SKS
<b>7.5c: Verkenning van warmte en koude voor energieopslag en flex-capaciteit</b>	Inzicht in technologie opties	Technologisch onderzoek naar warmte- en koudeopslag; materialen, systemen, toepassingen	X	X	X	↔	↔			SKT
		Ontwikkelen van nieuwe systemen voor efficiënte en goedkope industriële warmteopslag op hoge temperatuur voor verschillende tijdschalen.	X	X	X		↔	↔		SKT
	Inpasbaarheid en systeemfunctie warmte- en koude-opslag in kaart gebracht	Onderzoek naar warmteopslag als elektriciteitsbuffer op verschillende tijdschalen (dagen, weken, seizoenen)	X	X					↔	SKS
		Ontwikkeling van combinaties van warmte- en elektriciteitsopslag			X	↔	↔			SKF, SKT
<b>7.5d: Collectieve besluitvorming in socio-technische transitieprocessen</b>	Social labs gestart voor collectieve besluitvorming	Identificatie van socio-technische vragen op verschillende niveaus: bedrijven, industrieclusters/-locaties, regio's	X	X	X				↔	SKS
	Toolbox methodes beschikbaar	Ontwikkeling van tools en organiseren van social labs voor socio-technische vraagstukken.	X	X	X			↔		SKT

**Legenda voor kleuren:** donkergroen = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; groen = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; lichtgroen = lage prioriteit, mogelijk later opnemen;

Tabel B Deelprogramma 7.5 – Systeemconcepten voor warmte en koude: toelichting prioriteiten per deelprogramma

Innovatieopgave	Prioriteit	Toelichting
7.5a: Aanpak voor quick-wins: programmatische ombouw naar CO <sub>2</sub> -vrije productielijnen in de industriële omgeving.	Middel	Vanuit maatschappelijk perspectief is er vraag naar een integrale aanpak van complete fabrieken of sites, waarbij de totale emissies maximaal verlaagd worden. Ook bedrijven herkennen die noodzaak, maar voelen zich geen eigenaar van dit vraagstuk. Mogelijk bieden de RES-sen hiervoor een goed startpunt. Zodra het eigenaarschap helder is belegd, kan op dit gebied tempo gemaakt worden.
7.5b: Herontwerp van energiesysteem industrie sites	Laag	Herontwerp van industrie-sites vanuit toekomstig perspectief is noodzakelijk, maar hangt tegelijk sterk af van het ontwikkelingstempo en de haalbaarheid van diverse technologische opties. Nederlandse ingenieursbureau's zijn bij uitstek geschikt om dit uit te voeren, en de industrieclusters zijn ook goed voorgesorteerd voor deze uitdaging. Nadat er meer richting is gekomen in de innovatiepaden, kan aan deze lijn invulling gegeven worden.
7.5c: Verkenning van warmte en koude voor energieopslag en flex capaciteit	Middel	De integratie van het elektriciteits- en warmte/koudesysteem biedt kansen om kosteneffectief de transitie naar hernieuwbare energie te maken. De industrie kan hierin een grote rol spelen. Er is wel een sterke afhankelijkheid van de marktordening (mag het) en het vinden van een cross-sectoraal verdienmodel. Vanuit bijv. NWEA en vanuit diverse industrie-branches wordt al ingezet op het vinden van zo'n verdienmodel. Nederland heeft ook een overlegcultuur, die de kans van slagen groot maakt t.o.v. andere Europese landen.
7.5d: Collectieve besluitvorming in socio-technische transitieprocessen	Hoog	Het klimaatakkoord en de voorgestelde regionale aanpak via industrieclusters zijn de perfecte opmaat naar deze collectieve besluitvorming. Een aantal keuzes in de warmtetransitie voor de industrie raakt sterk aan keuzes in de regionale infrastructuur en de inrichting van het landschap. Er is dus ook een noodzaak om de collectieve maatschappelijke beweging die hiervoor nodig is vroeg in gang te zetten.

## 8.2 Stakeholders/actoren - samenwerking

De insteek van dit deelprogramma overstijgt individuele processen en meestal ook bedrijven. Het is daarom bij uitstek regionaal van opzet. Regionale symbiosekansen zijn de kern van deze aanpak. Juist op dit gebied is het uitdragen van verworven kennis en expertise belangrijk om anderen te inspireren. Dat betekent dat naast de regio's zelf, ook uitwisseling tussen regio's van belang is. Voorbeelden van dergelijke symbiosekansen zijn in het verleden in kaart gebracht in Zeeland door SDR. Daarnaast zijn ze bijvoorbeeld te vinden in Delfzijl en in Overijssel. In feite is deze aanpak in elke industrie-regio met een diversiteit aan bedrijven toepasbaar.

## 8.3 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

De incrementele aanpak die tot nu toe gehanteerd is bij de efficiencyverhoging van processen leidt niet automatisch tot de radicale doorbraken die we voor de doelen van 2050 nodig hebben. Dat betekent dat er ook ruimte in het beleid moet zijn om tijdelijke suboptimale situaties toe te staan, voor zover ze nodig zijn als tussenstap naar grote doorbraken in 2050.

Daarvoor is nodig dat vanuit het energiesysteem van een site geoptimaliseerd kan worden op toekomstige processen. Daarnaast betekent het ook dat er ruimte moet zijn om eerst bepaalde grote ingrepen in processen te doen, voor er een site-optimalisatie gedaan kan worden.

Tenslotte vereist deze aanpak gezamenlijkheid tussen bedrijven, overheden en soms andere sectoren (bijv. tuinbouw, gebouwde omgeving). Die aanpak komt niet vanzelf tot stand, omdat de verschillende actoren geen individueel belang bij het maatschappelijke optimum hebben. De (regionale) overheid heeft daarom een rol om als eigenaar van dit maatschappelijke probleem op te treden en de richting aan te geven.

## 8.4 Financiering

Om de aanpak die in dit deelprogramma wordt voorgesteld vorm te geven is ondersteuning nodig voor studies, organisatorisch vermogen en het begeleiden van collectieve besluitvormingsprocessen. Zoals hierboven aangegeven is er geen direct commercieel belang voor de deelnemende partijen, terwijl er wel een maatschappelijk belang is bij een collectieve aanpak. Publieke financiering van een aanzienlijk deel van deze innovatieopgaven is daarom noodzakelijk.