

tki energie & industrie
topsector energie

MMIP 8

Keten - en Systemaspecten



Andreas ten Cate

Programmamanager MMIP 8 TKI E&I

20 april 2023

Mede auteurs

Frank Wubbolts - frank.wubbolts@tno.nl

Joris Koorneef - joris.koorneef@tno.nl

Filip Neele - filip.neele@tno.nl

Janita Vermeulen - janita.vermeulen@tki-ei.nl

Eindredactie

Ivo de Klerk en George Wurplel (MSG)

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	4
2 Innovatieopgave	7
2.1 Doelen MMIP 8: bijdrage aan missie C	7
2.2 Deelprogramma's onder het MMIP	9
2.3 Deelprogramma 1 – Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem	9
2.4 Deelprogramma 2 – Infrastructuur en opslag	9
2.5 Deelprogramma 3 – Transport en opslag van CO ₂ (CCS)	10
2.6 Deelprogramma 4 – Digitalisatie voor nieuwe industrie	10
Intermezzo: Toelichting op keten- en systeemaspecten	11
3 Innovatie-onderwerpen: uitwerking subthema's en Nederlandse inzet	16
3.1 Keten- en systeemaspecten – Innovatie voorbij de technologie	16
3.2 Drivers die de slaagkans van innovaties bepalen	17
3.3 Deelprogramma 1 - Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem	17
3.4 Deelprogramma 2 – Infrastructuur en opslag	23
3.5 Deelprogramma 3 – Transport en opslag CO ₂ (CCS)	28
3.6 Deelprogramma 4 – Digitalisatie	30
4 Lopende Nederlandse innovatie-activiteiten	34
4.1 Inleiding	34
4.2 Coördinatie in industrieclusters	34
4.3 Grootschalige verkenning en planning	38
4.4 Onderzoek en innovatie	38
4.5 Kennisontwikkeling bij adviseurs en ingenieursbureaus	39
5 Samenhang op hoofdlijnen	40
6 Stakeholders/actoren	41
6.1 Industrieclusters	41
6.2 Internationaal	42
7 Omgevingsanalyse en -factoren	43
7.1 Digitalisering	43
7.2 Human Capital Agenda (HCA)	44
8 Communicatie, leren en disseminatie	45

Samenvatting

De Nederlandse industrie speelt een belangrijke rol in onze economie en samenleving. Tegelijk is zij verantwoordelijk voor ongeveer veertig procent van de uitstoot van broeikasgassen in ons land. Het is de maatschappelijke opgave om te transformeren naar een duurzame en inclusieve industrie, die een brede maatschappelijke welvaart levert en zo bijdraagt aan de kwaliteit van leven, de werkgelegenheid en de concurrentiepositie van Nederland, nu en in de toekomst.

Het klimaatakkoord en coalitieakkoord geven richting aan deze industriële transformatie: in 2050 is de industrie circulair en stoot ze vrijwel geen broeikasgas meer uit. De fabrieken draaien dan op duurzame elektriciteit uit zon en wind of energie uit aardwarmte, waterstof en biogas. De grondstoffen komen uit biomassa en reststromen en -gassen. De restwarmte gebruikt de industrie zelf of levert ze aan de tuinbouw of gebouwen en woningen. De industrie is dan naast gebruiker van energie ook producent en buffer van energie. In 2030 moet de industrie al flink minder CO₂ uitstoten. Dat is een tussenstap op weg naar volledige duurzaamheid.

Innovatie is noodzakelijk om deze ambitie te realiseren. Veel van de nieuwe manieren van produceren staan nog in de kinderschoenen en zijn nog niet marktrijp. Bedrijven investeren zelf in deze vernieuwing. Er zijn ook subsidies en overige instrumenten nodig om de ontwikkeling op gang te krijgen. Op die manier kan de industrie uitgroeien tot de meest CO₂-efficiënte industrie in Europa, en wel op een manier die de internationale concurrentiepositie niet in gevaar brengt.

Topconsortium voor kennis en innovatie Energie en Industrie (TKI E&I) ontwikkelt als onderdeel van de Topsector Energie de innovatieprogramma's die gerichte en programmatische innovatie mogelijk maken. Dit zijn Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). Elk MMIP schetst wat de verwachte bijdragen zijn aan de missies en welke kennis- en innovatieopgaven op korte termijn moeten worden opgepakt ten behoeve van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie. De missie voor de industrie is gedefinieerd als:

Missie C: Een klimaatneutrale en circulaire industrie in 2050.

De innovaties voor Missie C worden ingevuld in MMIP 6, 7 en 8, die complementair en onderling nauw verweven zijn:

- MMIP6: Grondstoffen en producten voor circulariteit van koolstof
- MMIP7: CO₂-vrije industriële energiehuishouding
- MMIP 8: Keten- en systeemaspecten

Hierbij richt MMIP6 zich op het hergebruik van grondstoffen en producten en MMIP7 op de energiehuishouding van de industrie. MMIP 8 is een programma dat integraal kijkt naar

energie en grondstoffen en daarbij ook aandacht heeft voor de (digitale) infrastructuur, transport en opslag.

MMIP 8: Keten- en systeemaspecten

Dit programma draagt bij aan de doelen van het Klimaatakkoord en coalitieakkoord om de broeikasgasemissies van de industrie in 2030 te verminderen met 19,4 Mton CO₂, het verbruik van primaire grondstoffen in 2030 met 50 procent te verminderen, en biograndstoffen als vervanger van fossiele grondstoffen in te zetten. Met de grootschalige ombouw van het energiesysteem, en met het ruim beschikbaar komen van duurzame energie in andere regio's in de wereld, zullen er daarom fundamentele vragen beantwoord moeten worden over welke industrie in de Nederlandse omgeving ingepast kan worden. En in welke nieuwe internationale ketens deze industrie dan optimaal presteert. Tegelijkertijd gaan ook grondstofstromen fundamenteel veranderen. Door die verder te onderzoeken en uit te werken op een systeemniveau wordt er ook een bijdrage geleverd aan het doel van het Nationaal Programma Circulaire Economie, dat wil zeggen: volledig circulair in 2050, waarbij gebruik van virgin grondstoffen niet groter mag zijn dan wat mogelijk is binnen planetaire grenzen.

De innovatieopgave van dit MMIP ligt in het oplossen van knelpunten in vier deelprogramma's en de bijbehorende innovatiethema's:

- Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem: inpassing van innovaties voor circulair grondstoffengebruik en hernieuwbare energie.
- Infrastructuur en opslag: omgaan met het transport en de variabiliteit van grote hoeveelheden hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare gassen.
- Transport en opslag CO₂: toepassing van Carbon Capture and Storage.
- Digitalisatie: inzet van digitale middelen voor de systeeminpassing van de industrietransformatie.

Het MMIP richt zich met deze thema's op technische, economische, ecologische, sociale en institutionele veranderingsvraagstukken. We gaan een grote ombouw van de industrie tegemoet, in eerste instantie om in de industrie snelle emissiereductie plaats te laten vinden, maar snel daarop zullen we ook zien dat circulariteit en afnemend gebruik van fossiele grondstoffen tot grote veranderingen zal gaan leiden. De keuzes die we de komende jaren moeten maken zullen daar grote invloed op hebben. In dit MMIP worden deze keuzes en mogelijkheden stapsgewijs in beeld gebracht vanuit een systeemperspectief.

1. Inleiding

In het Klimaatakkoord zijn de doelen vastgesteld voor de CO₂-emissiereductie die de industrie in 2030 moet bereiken: 49% reductie ten opzichte van 1990. In de Europese Green Deal is dit aangescherpt tot 55%. Dit doel voor de korte termijn legt de focus op maatregelen die de emissies 'aan de schoorsteen' verminderen. Uitstoot later en elders (scope 3) en andere duurzaamheidsaspecten worden daarin minder meegenomen en een fundamentele transformatie van de industrie blijft uit.

Kijken we verder vooruit, naar 2050, dan ontstaat een perspectief van een industrie die klimaatneutraal én circulair is. Dit is de missie die centraal staat in het innovatiebeleid voor de industrie. Naar aanleiding van het klimaatakkoord is deze gedefinieerd als:

Missie C: Een klimaatneutrale en circulaire industrie in 2050.

Met Missie C wordt ook een bijdrage geleverd aan het doel van het Nationaal Programma Circulaire Economie, dat wil zeggen: volledig circulair in 2050, waarbij gebruik van virgin grondstoffen niet hoger is dan mogelijk binnen planetaire grenzen. In 2050 zijn waardeketens circulair en duurzaam, zoals geformuleerd in het grondstoffenakkoord en uitgewerkt in de vier transitieagenda's circulaire economie. Hieronder wordt verstaan dat in deze ketens:

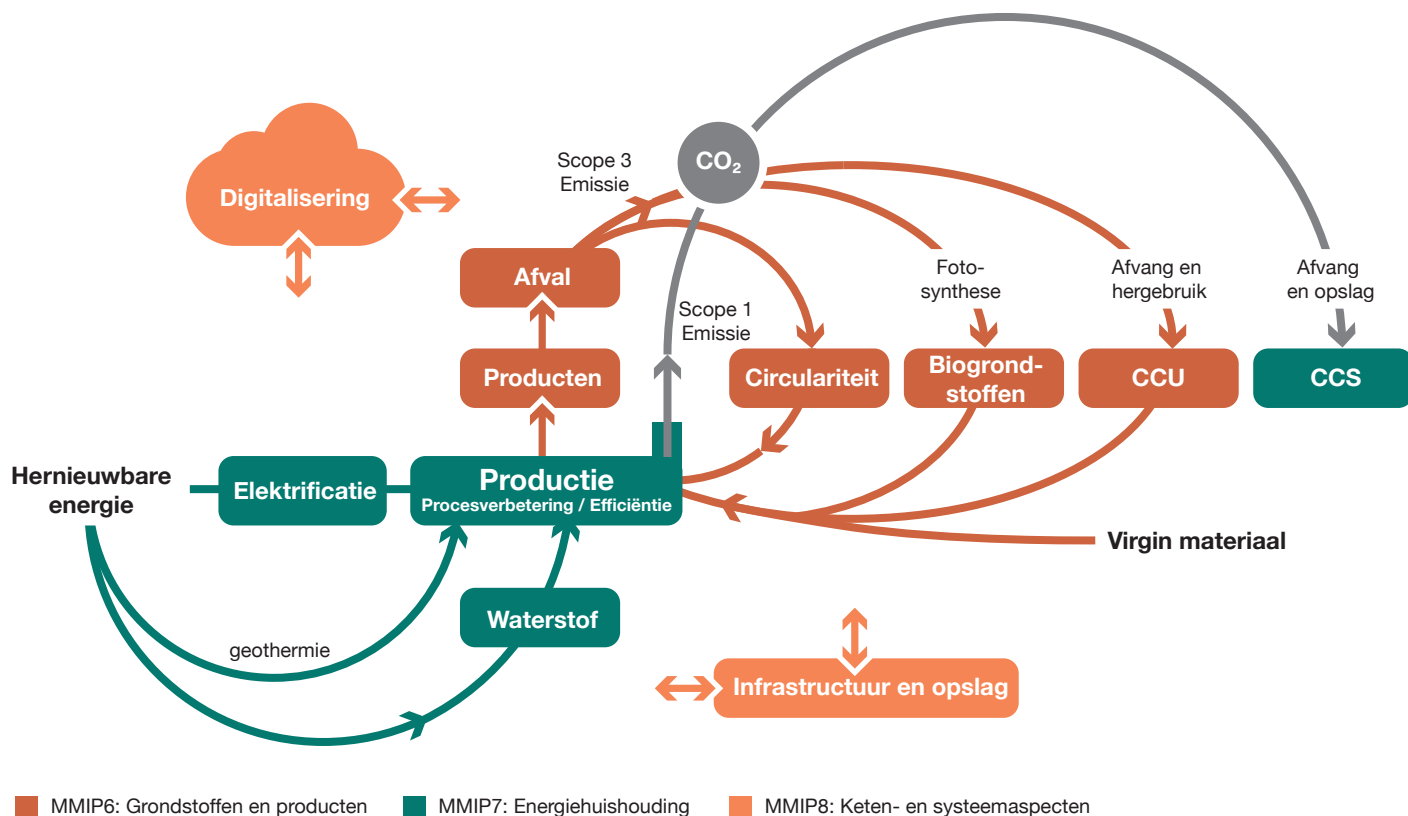
- Grondstoffen hoogwaardig worden benut;

- De productie van afval wordt geminimaliseerd;
- Er zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van duurzaam verkregen biograndstoffen;
- Alle gebruikte energie duurzaam wordt opgewekt.

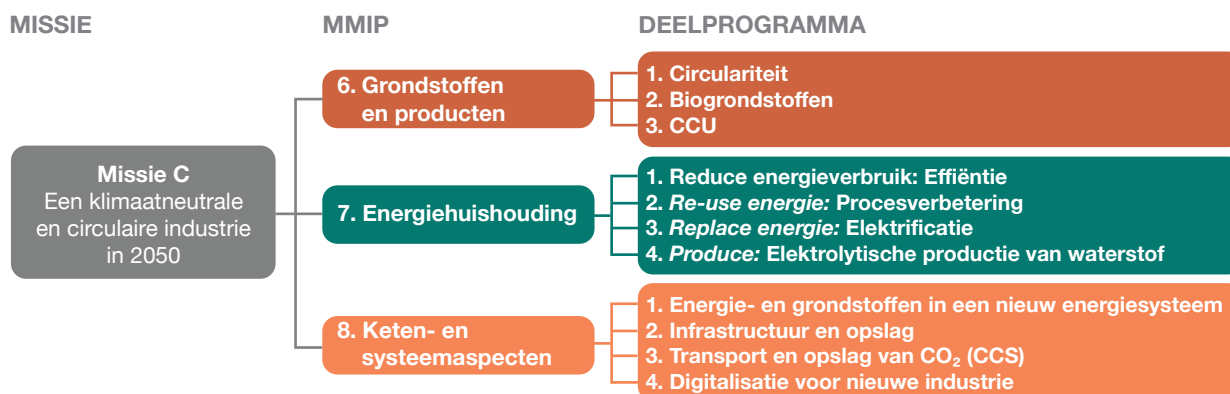
Om Missie C te bereiken zullen er fundamentele keuzes gemaakt moeten worden over hoe de industrie omgebouwd gaat worden tot een intrinsiek duurzame industrie, die niet meer gevoed wordt met fossiele grondstoffen maar met duurzame bronnen. Schematisch is dit weergegeven in figuur 1.

Een duurzame industrie vraagt om duurzame ketens van grondstoffen en producten, om een duurzame energievoorziening en om integratie van en tussen ketens. Dit zijn de onderwerpen van de drie Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) die bijdragen aan missie C. Elk MMIP schetst wat de verwachte bijdragen zijn aan de missies en welke kennis- en innovatieopgaven op korte termijn moeten worden opgepakt ten behoeve van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en implementatie. De grondstoffen- en energietransitie staan centraal in respectievelijk MMIP6 en MMIP7. De ontwikkeling van nieuwe ketens, en de integratie tussen ketens en binnen het industriële grondstoffen- en energiesysteem is het onderwerp van MMIP 8. Figuur 2 toont deze innovatieprogramma's met de bijbehorende deelprogramma's. Daarmee zijn alle hoofdthema's voor de missie afgedekt.

Figuur 1: Inrichting van toekomstige duurzame ketens van grondstoffen en energie voor een klimaatneutrale en circulaire industrie.



Figuur 2: Missie C met indeling naar innovatieprogramma's en deelprogramma's.



Het voorliggende document, MMIP 8, beschrijft de innovatieopgaven rond de vorming van nieuwe energie- en grondstoffenketens, en rond de integratie van industrie in het regionale energiesysteem. In deze beschrijving wordt een overzicht gegeven van de uitdagingen die de industrie heeft om deze inpassing te realiseren. Er wordt ingegaan op de uitdagingen rond ontwerp, opschaling en inpassing van de innovaties die momenteel relevant zijn, en er wordt weergegeven hoe deze kunnen bijdragen aan de CO₂-reductie- en circulariteitsdoelen. Het is de bedoeling dat dit document gebruikt wordt bij en richting geeft aan innovatie-, verkennings- en onderzoeks-calls zoals deze in het kader van deze missie worden uitgezet.

Nieuw in deze herijking

Dit document is onderdeel van de herijking van de MMIP's in 2023. De MMIP's zijn oorspronkelijk in 2019 opgesteld. Vanwege maatschappelijke ontwikkelingen, verschuivingen in de doelen en prioriteiten en vooruitgang in innovatie worden de MMIP's periodiek herijkt.

Dit MMIP over keten- en systeemaspecten is nieuw in deze herijking. Integratie, inpassing, ketenvorming en grotere mondiale ontwikkelingen oefenen grote krachten uit op de realisatie en opbouw van een nieuwe industrie. Deze ontwikkelingen dwingen nieuwe keuzes af die grote impact hebben op industriële activiteit, benutting van infrastructuur, landgebruik en het maatschappelijk verdienvermogen. De industriële innovatie is niet meer los te zien van de context waarin deze toegepast wordt. De omgeving is geen randvoorwaarde meer waaraan voldaan moet worden, het is een bepalende en sturende factor geworden die transformatie stuurt en innovatie afdwingt. Daarom is met MMIP 8 in de herijking de missie Systeem- en Ketaspecten toegevoegd aan Missie C.

Met de introductie van dit nieuwe MMIP zijn we nog op zoek naar de juiste formulering van de doelstellingen. Systeemanalyse, systeemontwerp en optimalisaties hebben vaak bredere doelstellingen dan technologie-specifieke hard te kwantificeren doelstellingen. Een systeem moet robuust zijn en moet

Het volgende hoofdstuk, **hoofdstuk 2**, beschrijft de opbouw van MMIP 8: de doelen, de deelprogramma's en de innovatieonderwerpen die daaronder vallen op hoofdlijnen. **Hoofdstuk 3** gaat dieper in op de innovatieonderwerpen en is met name gericht op inhoudelijk specialisten. **Hoofdstuk 5** beschrijft de belangrijkste innovatieactiviteiten die de komende jaren nodig zijn en waar dit MMIP op inzet. **Hoofdstuk 6, 7 en 8** beschrijven respectievelijk de belangrijkste stakeholders en actoren binnen het innovatielandschap, de omgeving waarbinnen innovatie plaatsvindt (met nadruk op digitalisering en human capital) en de beoogde methoden om opgedane kennis te dissemineren.

economische goed presteren tegen een lange levensduur. Systeemefficiëntie hangt erg van onderliggende technologieën af en van de passende inpassing op een locatie.

Voor dezelfde route tot een product zijn vele opties beschikbaar en mogelijk. Het gaat er vooral om deze opties goed in kaart te brengen en de afhankelijkheden en risico's die met iedere route samenhangt in kaart te brengen. Tegelijkertijd is het essentieel om met analyse op de juiste manier de opties te wegen en de efficiëntste of beste keuze voor een transitie-optie te wegen. ⁴

Tegelijkertijd is het door onderlinge verbanden steeds belangrijker deze afwegingen met meerdere betrokkenen te doen. Nieuwe ketens worden gevormd tussen partijen die van oudsher niet met elkaar samenwerkten. Inpassing in clusters leidt tot delen van gezamenlijke infrastructuur en energiebronnen en netwerken. Zowel de geavanceerde digitale middelen hiervoor ontwikkelen zich rap, als de best-practices om deze zo effectief mogelijk in te zetten in ontwerpprocessen en in besluitvorming.

Omdat deze MMIP een brede systemische scope heeft is het nog niet goed mogelijk concrete doelstellingen smart vast te stellen. In deze eerste versie van deze MMIP is er daarom voor gekozen de uitdagingen in de vorm van innovatie- en onderzoeksvragen te formuleren.

2. Innovatieopgave

2.1 Doelen MMIP 8: bijdrage aan missie C

Een robuust energie- en grondstoffensysteem met maximale synergie

MMIP 8 richt zich op innovaties die een rol spelen als je de functie van de industrie bekijkt naar zijn plaats in de keten of naar zijn rol in het (energie-)systeem. MMIP 8 geeft zicht op de context waarin de technologische innovaties van MMIPs 6 en 7 moeten functioneren – in industriële sites of fabrieken, in een regionale context, verbonden aan lokale, nationale of internationale aanvoerketens voor grondstoffen en energie.

Om bij te dragen aan missie C, een “klimaatneutrale en circulaire industrie in 2050”, zijn investeringsbeslissingen in productiemiddelen nodig voor:

- Opwek van hernieuwbare elektriciteit
- Elektrificatie en ombouw van industriële processen
- Afvang en opslag van CO₂
- Gebruik van circulaire koolstofbronnen en grondstoffen

Het is van belang dat deze investeringen gezamenlijk een zo hoog mogelijk rendement realiseren. Dat betekent dat het nodig is dat de processen efficiënt met energie en grondstoffen omgaan, goed op elkaar zijn afgestemd en er zo een robuust systeem met maximale synergie ontstaat. MMIP 8 biedt de basis om hierbij afwegingen te maken: welke ketens zijn tot wasdom te brengen en hoe passen deze optimaal in de Nederlands omgeving.

In de Nederlandse situatie is de verwachting dat in een nieuw energiesysteem ongeveer 30% tot 50% van de nationale energiebehoefte wordt ingevuld door productie uit eigen bronnen uit zon, wind en andere energieproducenten. De helft of meer van de energie en grondstoffen zal dus uit import worden ingevuld. Dit zal enerzijds een verschuiving van activiteiten betekenen over nieuwe ketens naar locaties waar energieproductie tegen de laagste kosten plaats vindt, en anderzijds zullen lokaal bedreven fabrieken zich meer en meer toe gaan leggen op circulaire productie in nieuwe ketens. Onderzoek en ontwikkeling van de beste balans hierin, staat centraal in MMIP 8.

In de periode tot 2030 ligt de nadruk op een snelle afbouw van de CO₂-emissies. In de periode 2030-2050 moeten - om Missie C te realiseren - grote stappen worden gezet met de diepe transformatie van de industrie en substantiële ontwikkeling van circulariteit. Daarbij is de economische prestatie van een duurzame industrie, gelegen in West-Europa en verbonden met de wereld, cruciaal voor behoud van welvaart en werkgelegenheid.

Transitiedoelen

De transitiedoelen van MMIP 8 zijn:

- De verhouding tussen energietransitie en industriële transformatie is scherp in beeld. Door de transitie heen is balans noodzakelijk tussen duurzame opwek van energie en inzet in een duurzame industrie.
- Er is een gefundeerd inzicht in de belangrijkste afwegingen tussen *make-or-buy* van energie en grondstoffen. Daarin is meegenomen dat ontwikkelingen plaats vinden in een mondiaal veranderend energielandschap, met een mondiale markt van vraag en aanbod van duurzame grondstoffen, en een wereldwijd veranderend technologieportfolio.
- Maatschappelijke kosten en baten van de industrietransitie zijn in balans – op een wereldwijde energie- en grondstoffenmarkt.
- Vergaande elektrificatie van de industrie is gerealiseerd in een omgeving met een groot aanbod aan variabele elektriciteit.
- Er zijn ketens van circulaire en groene grondstoffen gerealiseerd in Nederland (in een West-Europese omgeving) die duurzaam bijdragen aan maatschappelijke behoeften en economische activiteiten.
- Een duurzame industrie is optimaal ingebed: iteratieve ontwerpprocessen op systeemniveau hebben bijgedragen aan een hoogwaardig industrie-energiesysteem met een grote mate van robuustheid, efficiëntie en synergie.
- De rol van CO₂-opslag is voor de transitie geborgd en is in balans met de transformatie van de industrie naar 2050. Dit draagt bij aan het beheersen van de emissies en de mogelijke realisatie van negatieve CO₂-emissies.
- In de transitie zijn de dominante opschalingsregels van het nieuwe systeem uitgewerkt en benut: *economies of scale* en *economies of numbers* hebben hun plek gevonden in de keten van energie-opwek en in groene circulaire en decentrale ketens. Achterliggende maatschappelijke implicaties zijn zichtbaar gemaakt en geadresseerd.
- Inzet van de digitale technologie en benutten van de voortschrijdende transitie van de digitale technologiesector heeft plaatsgevonden voor: het optimaal ontwerpen van het nieuwe industriesysteem; het bepalen van robuuste transitie strategieën; en de ondersteuning van de uitvoering van de nieuwe industrie in operatie en onderhoud en marktvorming.
- Er zijn randvoorwaardelijke innovaties gerealiseerd die noodzakelijk zijn voor de uitvoering van een industriële transformatie. Belangrijke onderwerpen daarbij zijn:
 - Regelgeving voor een groene en circulaire industrie
 - Certificering van groene energie en grondstoffen
 - Marktmodellen voor duurzaam verdienvermogen
 - Toeleverende technologieketen zicht geven op marktkansen en groeipotentieel
 - Werkgelegenheid en arbeidskracht op maat voor een nieuwe industrie

Economische doelen

De economisch doelen van MMIP 8 zijn:

- Nieuwe duurzame bronnen zijn optimaal benut: offshore energieproductie biedt een sterke basis voor economische activiteit en koopkracht in een mondiale energiemarkt.
- Beheersing van kosten, footprint, energie-efficiëntie, systeemefficiëntie en de balans in publieke en private kosten van de industriële transformatie.
- De kostenbasis van de industrie is onder controle zodat de industrie competitief kan zijn in een geglobaliseerde, duurzame economie.
- Er is een balans gevonden tussen industriële activiteiten voor energie-intensieve bewerkingen in West-Europa, en de import van basisgrondstoffen en energiedragers van elders.
- Economische haalbaarheid op de lange termijn: er is een verdienmodel voor de Nederlandse industrie in een West-Europese omgeving.

Tabel 1: programmastructuur en MMIP-doelen

MMIP 8		Keten- en systeemaspecten		
MMIP-doelen	De industrie is in 2027 in staat verduurzamingskeuzes integraal af te stemmen op het verwachte energie- en grondstoffsysteem van 2050.			
Deelprogramma	Energie en grondstoffen in een nieuw systeem	Infrastructuur en opslag	Transport en opslag van CO2 (CCS)	Digitalisatie voor nieuwe industrie
Deelprogramma doelen	Afstemming van energie- en koolstofvraag van productieprocessen op de Nederlandse productie- en importcapaciteit voor duurzame energie en circulaire grondstoffen in 2050.	In 2027 zijn strategieën en technologie voor infrastructuur en opslag beschikbaar op site, cluster en (inter)nationaal niveau, die de toekomstige infrastructuurbehoefte optimaliseren.	CCS kan voor 2030 op 11 Mton-schaal worden geïmplementeerd op basis van een heldere maatschappelijke visie en implementatieplannen voor transport- en opslag infrastructuur.	In 2027 kan de systemische impact van strategische, tactische en operationele beslissingen van een bedrijf binnen en buiten de poort worden doorgerekend en afgestemd op andere systeemonderdelen.
Subthema's	<p>Inpassing van energie-intensieve processen en koolstof circulariteit in een duurzaam energie- en grondstoffsysteem.</p> <p>Maatschappelijke inbedding van groene grondstoffen en producten.</p> <p>Energie- en grondstoffenintegratie van deelsectoren uit het zesde cluster.</p> <p>Circulariteit van complexe stromen van gemeente samenstelling.</p>	<p>Regionale uitwisseling van energie en grondstoffen om impact op energie-infrastructuur te minimaliseren</p> <p>Sectorale strategie voor transformatie in een duurzaam energiesysteem door middel van conversie, opslag en vraagsturing.</p> <p>Nationale en internationale systeemoptimalisatie en impact op economie, maatschappij en milieu</p>	<p>Rol en perspectief van CCS naar 2050</p> <p>Maatschappelijke acceptatie en besluitvorming rond CCS</p> <p>Grootschalige, open transport- en opslaginfrastructuur</p> <p>Negatieve emissies en alternatieve vormen van permanente opslag</p>	<p>Systeemontwerp van industrie in nieuwe energie- en grondstoffenketens.</p> <p>Site-optimalisatie en operationele processturing in nieuwe hoog-volatiele energiemarkten.</p> <p>Traceerbaarheid en certificering van de footprint van grondstoffen en producten door de keten.</p>
	Een afwegingskader voor de optimale ketens en systemen voor een klimaatneutrale en circulaire industrie in 2050			

2.2 Deelprogramma's onder het MMIP

MMIP 8 is opgebouwd uit de volgende deelprogramma's:

- Deelprogramma 1 – Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem
- Deelprogramma 2 – Infrastructuur en opslag
- Deelprogramma 3 – Transport en opslag van CO₂ (CCS)
- Deelprogramma 4 – Digitalisatie voor nieuwe industrie

Deze deelprogramma's richten zich op de systeeminnovaties die nodig zijn om de transformatie van een lineaire naar een groene, duurzame en circulaire industrie mogelijk te maken. We kijken daarbij stapsgewijs naar de primaire ketens die verduurzamen (Deelprogramma 1). Infrastructuur en opslag versterken deze ketens door robuustheid en leveringszekerheid te borgen (Deelprogramma 2). Opslag van CO₂ zal doorlopend een rol spelen en uiteindelijk moeten bijdragen aan negatieve emissies (Deelprogramma 3). Deze drie deelprogramma's worden versterkt door digitale innovaties – van strategisch ontwerp tot operatie en onderhoud (Deelprogramma 4).

Per deelprogramma's zijn er subthema's gedefinieerd. De keuze van de subthema's is impliciet gebaseerd op een aantal criteria, zoals:

- In hoeverre draagt het subthema bij aan de MMIP 8 doelstellingen?
- Beschikt Nederland over voldoende kennisbasis en een innovatie-ecosysteem met bedrijven en kennisinstellingen om dit onderwerp op te pakken?
- Hebben we in Nederland bedrijven van voldoende omvang en economische kracht om op het betrokken subthema actief te zijn (of te worden) met een potentieel verdienvermogen en exportkansen?
- Is de volwassenheid van de innovatie al voldoende?
- Vindt op het onderwerp al activiteit plaats?

2.3 Deelprogramma 1 – Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem

In MMIP 6 en MMIP 7 worden de technologische innovaties voor circulaire grondstoffen en de energiehuishouding in de industrie uiteengezet. Deelprogramma 1 van MMIP8 behandelt de inpassing van deze innovaties. Bij transitie op een site gaat het om het samenspel van nieuwe technologieën. Slimme keuzes maken de ombouw van de energiehuishouding inzichtelijk en zorgen dat de sites om kunnen gaan met variabele stroom. Methodes om dit uit te werken staan hier centraal en kijken vanuit het proces tot aan de inrichting van hele sites.

In deelprogramma 1 wordt naar de ontwikkelingen van nieuwe ketens gekeken in de volgende subthema's:

- a. Inpassing van grootschalige energie-intensieve processen in een duurzaam gedreven energiesysteem.
- b. Inpassing van grootschalige koolstofcirculariteit in een nieuw energie- en grondstoffensysteem.

- c. Maatschappelijke inpassing van groene kunststofketens, gedreven door circulaire plastics en hernieuwbare bronnen van biograndstoffen.
- d. Optimale opwek, benutting, hergebruik en uitkoppeling van proceswarmte in sites en clusters, gedreven door duurzame energie.
- e. Energie- en grondstoffenintegratie van Agro-food, Papier en andere deelsectoren uit het zesde cluster.
- f. De recycling en afvalketen als grondstoffenbedrijf – circulariteit van complexe stromen van gemende samenstelling en toekomstige grondstofstromen.

2.4 Deelprogramma 2 – Infrastructuur en opslag

Grote variaties van hernieuwbare elektriciteit en grote importstromen van hernieuwbare grondstoffen en energiedragers maken dat (transport-)infrastructuur en opslag op allerlei plekken en schalen een rol gaan spelen. In dit deelprogramma worden deze gestructureerd in kaart gebracht en de grootste innovatieopgaven behandeld.

De nieuwe ketens beschreven in deelprogramma 1 kunnen alleen tot stand komen als ze door de juiste infrastructuur en opslag ondersteund worden. Door de toenemende rol van duurzame energie en voor de uitvoering van circulariteit zullen allerlei aanpassingen binnen fabrieken en sites, gaan plaatsvinden, zowel sectoraal als regionaal. Op al deze aggregatieniveaus moeten nieuwe netwerken worden aangelegd en verbindingen worden gemaakt. Al deze veranderingen zullen door infrastructuur ondersteund moeten worden. Vanwege de variabele energiebronnen en de rol van bijvoorbeeld import zal dit ook zwaar ondersteund moeten worden door opslag.

Dit leidt tot de volgende indeling van dit deelprogramma in subthema's:

- a. Technologieontwikkeling en concepten voor infrastructuur en opslag op bedrijfsniveau met (voorbereiding op) technologieontwikkeling en toepassing (conversie, opslag, vraagsturing).
- b. Technologie en strategie op cluster- of bedrijventerreinniveau op het vlak van uitwisseling van energie en grondstoffen, vraagsturing en afstemming, delen van opslag en minimaliseren van impact op (lokale) energie-infrastructuur.
- c. Sectorale strategie met sectorspecifieke kansen en herhaalbare oplossingen voor industriële transformatie in een duurzaam en variabel energiesysteem door middel van conversie, opslag en vraagsturing.
- d. Nationale en internationale systeemoptimalisatie en impact op economie, maatschappij en milieu

2.5 Deelprogramma 3 – Transport en opslag van CO₂ (CCS)

De verwachting is dat opslag van CO₂, zeker in de komende decennia, belangrijk zal zijn voor de eerst grote slag in emissiereductie. Door de introductie van nieuwe processen en een afnemende rol van fossiele brandstoffen, zal de opslagrol verschuiven van emissiereductie naar negatieve emissies. De lange-termijn uitdagingen en alternatieve oplossingen hiervoor worden in dit deelprogramma behandeld.

De subthema's rond CCS zijn daarom de volgende:

- a. Rol en perspectief van CCS naar 2050
- b. Maatschappelijke acceptatie en politieke steun voor CCS
- c. Grootschalige, open transport- en opslaginfrastructuur
- d. Negatieve emissies en alternatieve vormen van permanente opslag
- e. Ondersteunend beleid

2.6 Deelprogramma 4 – Digitalisatie voor nieuwe industrie

De doorlopende ontwikkeling en groei van digitale middelen en technieken speelt een steeds belangrijkere rol bij de industrietransformatie. We leven in een steeds data-rijkere wereld en die beschikbaarheid en uitwisseling van data maakt nieuwe diensten mogelijk of ondersteunt bestaande diensten. Daarnaast krijgen we steeds meer integratie van digitale middelen met de fysieke wereld. Dit is mede mogelijk door de snel doorgaande ontwikkeling van hardware die steeds meer integratie en decentralisatie mogelijk maakt.

Digitale technieken spelen een belangrijke rol bij het ondersteunen van besluiten rond de transformatie en inzet van het industriële systeem in samenhang met haar omgeving. Data-gedreven besluiten raken alle elementen in de keten die een verbinding maken tussen de grondstoffen en energie en ander hulpmiddelen (de input kant) en de gebruikskant, de markt waaraan producten geleverd worden. We onderscheiden drie niveaus van beslissingen: strategische, tactische en operationele beslissingen. De strategische beslissingen lopen over jaren en hebben met de grote investeringen te maken. De tactische en operationele beslissingen hebben te maken met het optimale rendement in operatie.

Daarnaast speelt de beschikbaarheid van data een belangrijke rol bij marktforming van groene grondstoffen en energiedragers. De borging van kwaliteit door certificering (hoe 'groen' is de grondstof of energiedrager?) wordt ondersteund met digitale certificaten en technieken om transacties te ondersteunen. Ontsluiting via digitale platformen ontwikkelt ook sterk door. Digitale transformatie is geen one-size-fits-all aanpak. Spelers in de industrie hebben unieke infrastructuren, bedrijfsmodellen, organisatiestructuur en vaardigheden van hun personeel.

Hun gereedheid voor digitale transformatie varieert sterk, wat ook impliceert dat ze op maat gemaakte digitale transformatiestrategieën en roadmaps nodig hebben.

Binnen MMIP 8 zijn dit de subthema's rond digitalisatie:

- a. Systeemontwerp en inpassing van een transformerende industrie in nieuwe energie- en grondstoffenketens. Digital twins van grootschalige industrie-energiesysteem-grondstoffenketen systemen.
- b. Site-wide optimalisatie en operationele processturing in nieuwe hoog-volatiele energiemarkten. Van stabiele baseload naar variabele operatie, van utiliteit tot kernproces.
- c. Footprint traceerbaarheid en certificering van grondstoffen en producten door de keten. Innovaties voor het meten, controleren, beheersen en verrekenen van footprint factoren (bijv. CO₂ content) volgend uit externe eisen van regulering (carbon tracking, EU-taxonomie, eco-design). Grip op scope-3 emissies.

Intermezzo: Toelichting op keten- en systeemaspecten

Nieuwe industrie – nieuwe ketens

De basis waarop de industrie draait wordt gevormd door:

- Energie – deze zal grotendeels uit de duurzame bronnen zon en wind komen en zal daarmee aanbod-gedreven zijn, dus variabel.
- Groene grondstoffen – gebaseerd op hernieuwbare bronnen, biograndstoffen, en op circulariteit, waarbij koolstof, metalen en mineralen teruggewonnen moeten worden uit afval- en reststromen. Hiervoor is een groot deel groene energie, zowel elektriciteit als waterstof, nodig om de ketens te kunnen sluiten.

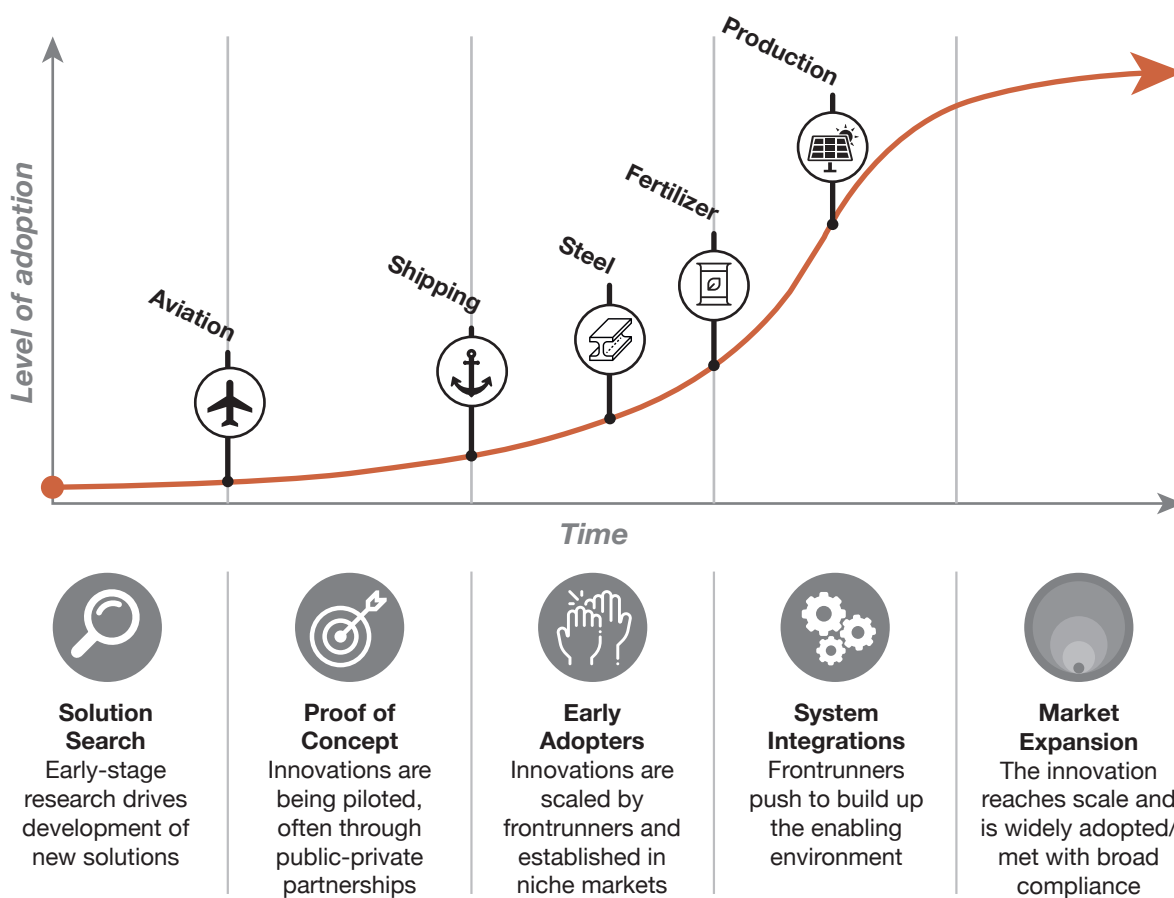
Om deze duurzame industrie robuust in een West-Europese context een plek te geven zullen nieuwe ketens opgebouwd worden en zal deze geïntegreerd in het energiesysteem en met de omgeving ontwikkeld moeten worden. De uitdagingen zitten daarbij niet meer alleen in technische innovatie, maar vragen ook om innovatie van de inbedding van de nieuwe technologie in een groen energie- en grondstoffensysteem. Om maar een paar tot de verbeelding sprekende voorbeelden te noemen:

- Tata Steel bouwt zijn site om van cokes-gebaseerde ijzer-reductie reductie in hoogovens naar een direct gereduceerd ijzerproces (DRI) in combinatie met elektrisch gedreven smeltprocessen. Het DRI-proces moet bedreven worden met waterstof, de elektrische ovens met groene stroom. Deze moeten bij voorkeur baseload aangeleverd worden. Hoe gaan we deze stabiel aanleveren vanuit wind en zon?
- Alle grote bedrijven die stoomkrakers bedrijven, kijken naar elektrificatie van deze baseload processen, die per site meer dan 1 GW vermogen zullen vragen. Daarnaast kijken ze naar groene of circulaire routes voor hun nafta als grondstof voor kunststoffenproductie. Het merendeel van hun producten wordt geëxporteerd en met hun product gaat dus ook straks hun grondstof het land uit. Hoe gaan we wederom voldoende groene stroom aangeleverd krijgen en hoe voorzien we de bedrijven van voldoende nafta uit biograndstoffen, afvalstromen en CO₂ uit duurzame bron?
- Naast deze grote bedrijven zijn er volop uitdagingen voor de chemie, agro-food bedrijven, de papiersector, en nog vele andere bedrijven om de omslag te maken. Toegang tot duurzame energie en grondstoffen is de basis.

Voor een groot deel van de transitieopgaven zijn de technische oplossingen wel bekend. Hoe deze echter op schaal te bedrijven, te integreren met andere processen op de site en hoe deze langs nieuwe circulaire ketens optimaal in te zetten vraagt om een andere blik. Het zal cruciaal zijn om de prestaties van de hele keten end-to-end te bekijken en daarbij de keten- of systeemprestatie als geheel te optimaliseren. Dit gaat leiden tot nieuwe industrie met nieuwe schalingsregels, nieuwe afwegingen en, nieuwe geografische optimalisaties en nieuwe industrie. Om deze duurzame industrie op schaal en op tijd aan de praat te krijgen is het essentieel dat de innovatie-blik wordt opgetrokken van technologie-innovatie naar het geheel van de keten of het systeem waarbinnen de technologieën moeten presteren.

Abrupte transitie op wereldschaal

Industrie opereert in een mondiaal speelveld dat aan grote veranderingen onderhevig is. De grote, energie-intensieve industrie is mondiaal ingebed. De grondstoffen en halffabricaten worden verhandeld op een wereldmarkt. En aan deze markt wordt door de energietransitie een nieuw element toegevoegd, de opschaling en uitrol van duurzame energie, en in zijn voetspoor de ontwikkeling van waterstof. Het Rocky Mountain Institute (RMI.ORG) argumenteert in zijn recente publicaties dat de opname van innovaties de bekende S-curve volgt, en dat de gevolgen daarvan niet goed begrepen worden. Figuur 2 laat de weergave van de S-curve voor groene waterstof zien in hun interpretatie. Daarin staat voorop dat hernieuwbare energieproductie in fase 4 zit, aangeduid met systeem-integratie – *‘The innovation reaches mass market as it outperforms incumbents in costs and performance. This is the steepest part of growth on the S-curve’*.



Figuur 3: De S-curve van waterstof ontwikkeling – voorbode van abrupte transitie.
 (RMI – Green Hydrogen on an S-curve: Fast, Beneficial, and Inevitable)

Aanwijzingen dat dit inderdaad het geval is, ook in Nederland, zijn onder andere het succes van de offshore wind tender voor Hollandse Kust West VII – waarvoor 48 biedingen waren aangemeld, en waarvan 27 biedingen ook in aanmerking kwamen om de tender uit te voeren terwijl er slechts 1 kon winnen. Een ander signaal is het beeld dat de groeipercentages voor wind en zonnepanelen in Europa op 12%/jaar en 18% per jaar liggen. Deze trend groeit samen met vergelijkbare S-curves in groei van bijvoorbeeld het gebruik van warmtepompen en energie-efficiency maatregelen en de snelle groei van elektrisch vervoer.

Dit leidt ertoe dat enerzijds de vraag naar fossiele energiedragers (olie, en oliederivaten) het komende decennium al gaat afnemen (piek lag in 2019 en nu in plateau), en dat er grote verschuivingen kunnen gaan plaatsvinden in welke producten waar geografisch het beste geproduceerd kunnen worden.

Als we dan kijken naar figuur 2, dan zien we dat de snelle groei van hernieuwbare energie de ontwikkeling van groene waterstof aanjaagt, en dat die daarachteraan een impuls gaat geven aan de verduurzaming van ammoniak (als energiedrager, grondstof en kunstmest), staalproductie gevolgd door scheepsbrandstoffen en op termijn de luchtvaart. De bulk

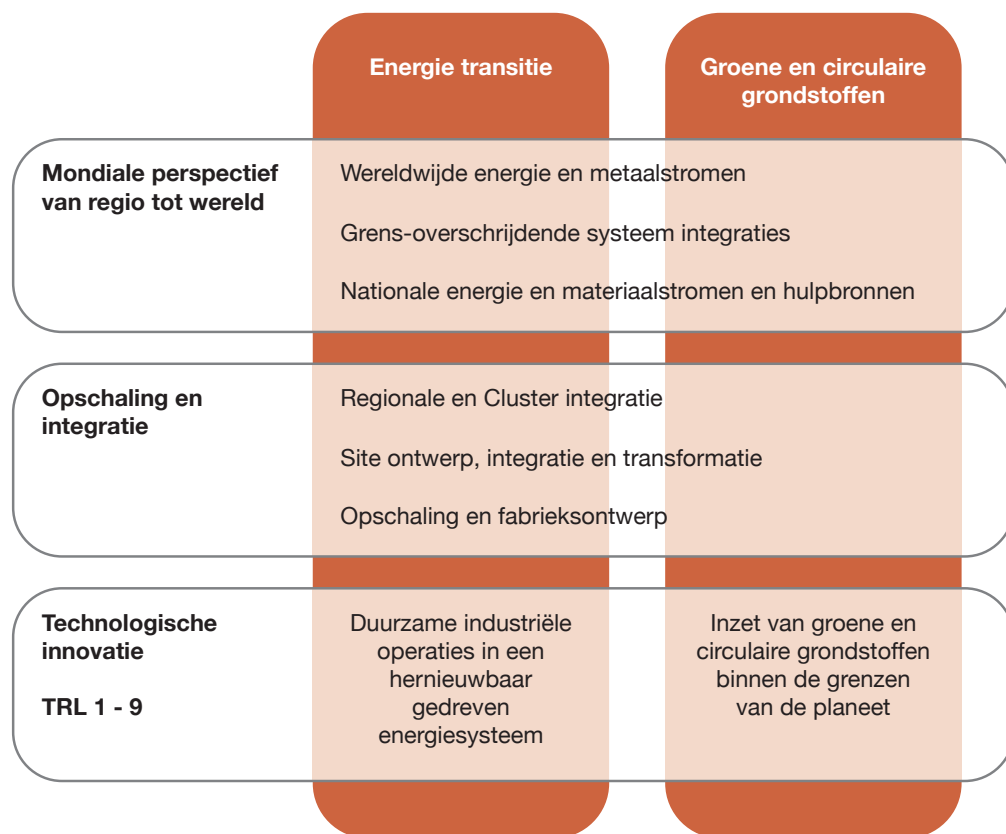
energiegrondstoffen zullen dan zeer waarschijnlijk geproduceerd worden in regio's waar de duurzame energieproductie tegen de laagste kosten uitgevoerd kunnen worden, voor industrie grondstoffen zal dit betekenen dat er naast bijvoorbeeld ijzererts een wereldwijde handel in ruwijzer (hot bricketed iron, HBI) als halffabricaat zal ontstaan.

Welke strategische uitdagingen en kansen biedt dit en hoe moeten we onze eigen transitie zien in deze macro-trend? In onze regio zullen we door ontwikkeling van offshore wind onze industrie staalsector om kunnen bouwen tot een voorloper in duurzame productiegroen staal als we op tempo de omslag kunnen maken, hand-in-hand met de uitbouw van offshore wind. De kunst wordt om de juiste rol te vinden en om het mondiale tempo bij te houden. Diepere strategische analyses en verkenningen zullen nodig zijn om deze veranderingen actueel te duiden en ons eigen transitie pad daarop af te stemmen.

Keten- en systeemaspecten – Innovatie voorbij de technologie

Door de snel opschalende productie van duurzame energie wereldwijd moeten we onze blik op de rol van innovatie bij industriële transformatie scherp houden. Om een relevante innovatieagenda te voeren zullen we onze technologische innovaties daarom optimaal in een bredere context moeten

plaatsen en daarin ontdekken welke combinaties van technologieën tot een duurzaam energie-industrie-systeem in een maatschappelijke context vormt. Dit betekent dat innovatie over de grenzen van de technologie naar het systeem en naar de ketens moet kijken. Figuur 3 geeft dit beeldend weer.



Figuur 4: Technologische innovaties van de industrie voor energie- en grondstoffentransitie en in het bredere systeemperspectief.

Historisch is dit al te duiden. Een industriële site is gevestigd op een locatie die om historische redenen zo is gekozen. In Nederland ligt bijvoorbeeld Chemelot in Limburg omdat daar vroeger kolen voor handen waren en daarmee energie en grondstof verzekerd waren. Raffinaderijen in Rotterdam voeren olie in om via de Rijn de industrie en het achterland van energie en grondstoffen te voorzien. En zo kan iedere locatie historisch geduid worden.

In een duurzaam gedreven energiesysteem zal de transformatie nieuwe betekenis aan de locaties moeten geven, waarmee de vestigingslocatie in een duurzaam energielandschap waarde behoud of nieuwe waarde krijgt. Daarbij is het zeer belangrijk je te realiseren dat de waarde van duurzame energie tot zijn recht komt als deze optimaal geïntegreerd wordt met de

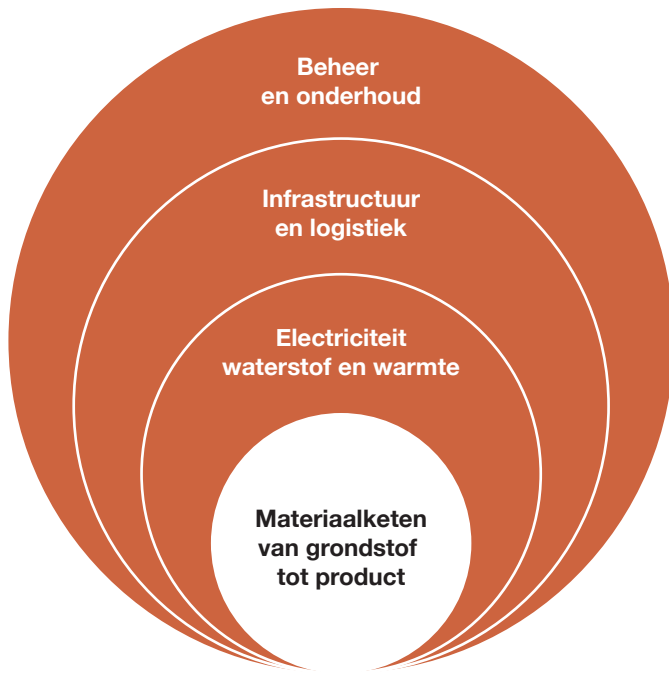
volgende stappen in de keten. Het is niet voor niets dat de eerste fabrieken voor groen staal nu ontwikkeld worden in Noord-Zweden; daar is immers ijzererts volop voorhanden, en bovendien is daar volcontinu groene stroom uit waterkracht aanwezig. De groei van industrie voor ijzer ontwikkelt zich daar nu snel, maar ook voor bijvoorbeeld batterijfabrieken. Willen we tot optimale benutting van onze duurzame energiebronnen komen, en onze capaciteit voor opslag van CO₂ en waterstof in lege gasvelden goed benutten, dan zullen we moeten uitwerken hoe we de opwek, het transport, buffering en gebruik van groene stroom en groene waterstof maximaal inzetten om duurzame producten te produceren, zodat we waarde in onze economie creëren die duurzaam en competitief tot zijn recht komt in de wereldhandel.

Keten- en systeemaspecten - wat zijn ketens, wat zijn systemen?

Om deze innovatieagenda goed te interpreteren is het belangrijk de begrippen 'keten' en 'systeem' te duiden. Intuïtief zijn deze twee begrippen twee dimensies van hetzelfde onderwerp zijn. We zetten ze hieronder uiteen zoals we ze hanteren in MMIP 8.

Ketens en systemen voor industriële productie

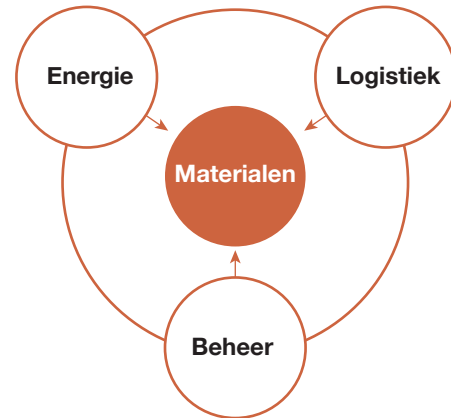
Industriële productie van materialen heeft energie nodig (in de vorm van elektriciteit, waterstof of warmte) en infrastructuur & logistiek. Alle drie hebben beheer en onderhoud nodig. Het is de materialenketen (van grondstof naar eindproduct voor consumenten) die de primaire behoefte stelt aan de andere ketens (energie, logistiek, beheer).



Figuur 5: Het industrie productiesysteem in vier lagen van afzonderlijke ketens

Ketens bestaan nu uit opeenvolgende stappen die leiden van unieke grondstoffen of kennis naar specifieke eindproducten of diensten. *Ketenaspecten* hebben daarom betrekking op de verbindingen tussen schakels die niet of moeilijk inwisselbaar zijn.

Systemen bestaan uit de onderlinge verbinding tussen ketens. In de eerst plaats de verschillende materiaalketens die met elkaar in verbinding staan, en daarna de manier waarop die worden verbonden door de ketens voor energie, infrastructuur en beheer.



Figuur 6: Model voor een systeem van ketens voor energie, infrastructuur & logistiek en voor beheer faciliteren de keten voor materialen.

Voorbeelden van ketenaspecten zijn:

- Kwantiteit (hoe verandert het volume van de productstroom langs de keten?)
- Kwaliteit (hoe verandert de waarde langs de keten?)
- Toegevoegde waarde (waar zit het verdienvermogen van de keten?)

Langs de materiaalketen neemt de productkwaliteit toe, waardoor er waarde wordt toegevoegd. Langs de energieketen neemt de kwaliteit af naarmate die stapsgewijs wordt omgezet van (hoogwaardige) elektriciteit naar (laagwaardige rest-) warmte. Afzonderlijke schakels in de waardeketen moeten voldoende waarde toevoegen om op zichzelf te kunnen staan. Lukt dat niet dan kan integratie met andere schakels ervoor zorgen dat wel voldoende waarde wordt toegevoegd om zelfstandig te kunnen bestaan.

Voorbeelden van systeemaspecten zijn:

- Efficiëntie (grondstof of energie per eenheid eindproduct).
- Veerkracht (manieren om uitval op te vangen).
- Geografische afbakening (waar ligt de grens van een (sub)systeem).

Uiteindelijk zou de efficiëntie in het systeem belangrijker moeten zijn dan efficiëntie in een afzonderlijke keten. Een systeem stelt in staat om hogere efficiëntie te verwezenlijken door onderling energie en materialen uit te wisselen en onderling te verrekenen. Optionaiteit – de mogelijkheid om uit meerdere routes te kiezen om je product te maken en bij de klant af te leveren – geeft een systeem veerkracht waardoor kan worden ingespeeld op externe veranderingen, maar het heeft ook een prijs omdat ook minder effectieve opties worden ingezet.

Mondiaal perspectief

De ketens strekken zich over de gehele wereld uit en schakels vinden elkaar daar waar voor langere tijd voldoende synergie ontstaat tijdens de productie door uitwisseling van materialen en energie.

De markten voor grondstoffen en energie zijn zowel wereldwijd georganiseerd (*commodities*) als meer lokaal of regionaal (elektriciteit). Infrastructuur en logistiek zorgen voor transport van materialen en energie. De keten voor beheer en onderhoud lijkt meestal lokaal georganiseerd om aan te sluiten bij lokale wet- en regelgeving, terwijl specialistische dienstverlening door wereldwijd opererende ondernemingen wordt uitgevoerd.

Zakelijk perspectief

De operationele aspecten van productieketens zijn op hun beurt weer onderdeel van een groter geheel met een eigen hoger doel: het laten renderen van kapitaal.

Investor Het verdelen van financieel kapitaal over verschillende sectoren om risico te spreiden en rendement te behalen.

Corporate De inzet van (financieel) kapitaal om rendement te behalen voor aandeelhouders en investeerders, markten zijn een middel.

Business De inzet van assets (kapitaalgoederen) in markten voor producten en grondstoffen, het ontwikkelen van markten is het belangrijkste doel, product- en procesinnovatie zorgen voor positie in de markt.

Operations Het zo efficiënt mogelijk bedrijven van de kapitaalgoederen om daarmee operationele winst te realiseren uit volume en marge, technologie is een middel.

De onderlinge afhankelijkheden van de verschillende ondernemingen binnen de ketens en in het systeem zullen verschuiven. Het kennen van de drijfveren van deze partijen is belangrijk om te begrijpen welke mogelijkheden en bereidheid zij hebben om investeringen te doen in de Nederlandse energie en materialentransitie.

Waarom is dit onderwerp belangrijk? En waarom nu?

Recente investeringen in assets (productiefaciliteiten) wereldwijd voor de productie van elektriciteit, waterstof, ammonia en ruwijzer zijn indicatoren voor de ontwikkelingen die in de komende decennia naar verwachting verder zullen doorzetten. Die ontwikkelingen hebben gevolgen voor de (optimale) positie van de industrie in Nederland binnen een klimaatneutraal en circulair 2050. Vanuit dit perspectief op investeringen en afhankelijkheden op keten- en systeemniveau worden in dit MMIP innovatie-activiteiten en onderwerpen (technisch, businessmodel) in kaart gebracht.

In het MMIP wordt de innovatieagenda vanuit het perspectief van Nederland bekeken. De belangrijkste vraag is daarom, welke activiteiten in Nederland zullen zorgen voor een robuust verdienvermogen binnen een mondiale context van veranderende energie- en grondstofstromen aan de ene kant en meer verantwoorde consumptie aan de andere kant. Deze activiteiten worden vervolgens regionaal en lokaal optimaal gefaciliteerd en ondersteund.

Door de abrupte transitie die wereldwijd het komende decennium zeer snel zullen uitrollen en opschalen is het nu het moment om de bestaande relaties en netwerken in Nederland opnieuw in te richten om economische activiteit en welvaart die uit onze industriële activiteiten voortkomen voor de lange termijn te borgen.

3. Innovatie-onderwerpen: uitwerking subthema's en Nederlandse inzet

In het vorige hoofdstuk zijn de deelprogramma's onder MMIP 8 geïntroduceerd en hun belang beredeneerd. Het betreft hier:

- Deelprogramma 1 – Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem
- Deelprogramma 2 – Infrastructuur voor import, doorvoer en opslag
- Deelprogramma 3 – Transport en opslag van CO₂ (CCS)
- Deelprogramma 4 – Digitalisatie voor ontwikkeling en operatie van nieuwe industrie

De innovatie activiteiten die samenhangen met de keten en systeemaspecten worden in de subthema's uitgewerkt en gespecificeerd voor de Nederlandse context.

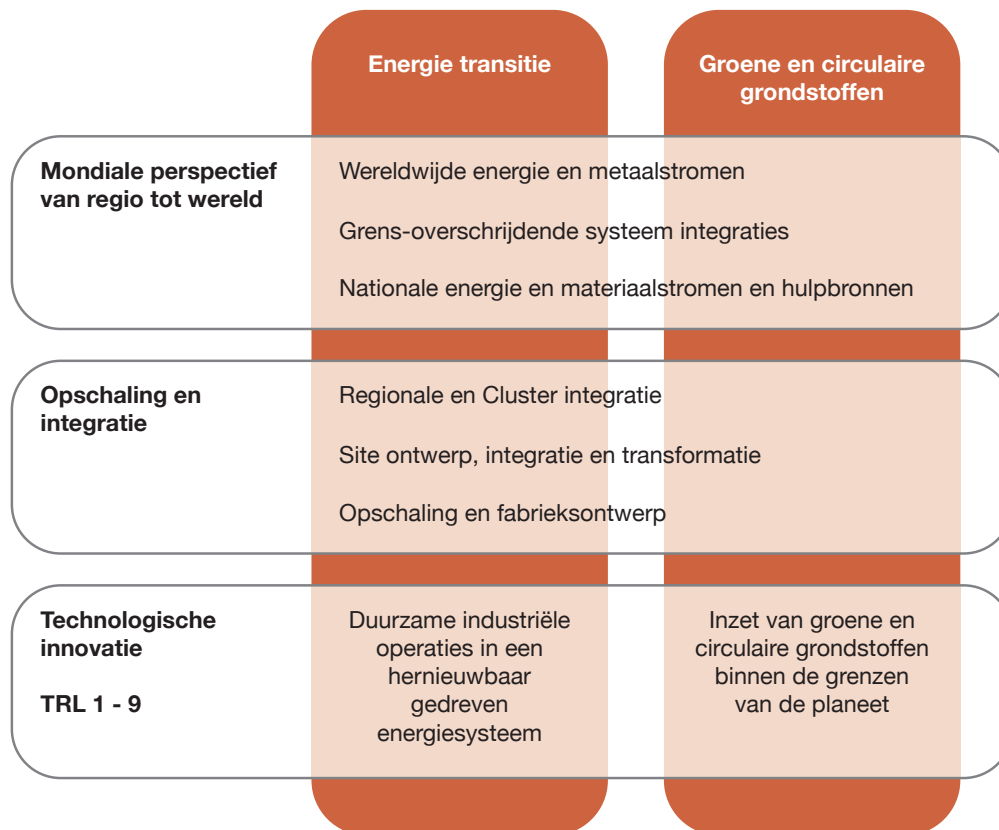
3.1 Keten- en systeemaspecten – Innovatie voorbij de technologie

Door de snel opschalende productie van duurzame energie wereldwijd moeten we onze blik op de rol van innovatie bij industriële transformatie scherp houden. Om een relevante innovatieagenda te voeren zullen we onze technologische innovaties daarom optimaal in een bredere context moeten

plaatsen en daarin ontdekken welke combinaties van technologieën tot een duurzaam energie-industrie-systeem in een maatschappelijke context vormt. Dit betekent dat innovatie over de grenzen van de technologie naar het systeem en naar de ketens moet kijken. Figuur 3 geeft dit beeldend weer.

Historisch is dit al te duiden. Een industriële site is gevestigd op een locatie die om historische redenen zo is gekozen. In Nederland ligt bijvoorbeeld Chemelot in Limburg omdat daar vroeger kolen voor handen waren en daarmee energie en grondstof verzekerd waren. Raffinaderijen in Rotterdam voeren olie in om via de Rijn de industrie en het achterland van energie en grondstoffen te voorzien. En zo kan iedere locatie historisch geduid worden.

In een duurzaam gedreven energiesysteem zal de transformatie nieuwe betekenis aan de locaties moeten geven, waarmee de vestigingslocatie in een duurzaam energielandschap waarde behoudt of nieuwe waarde krijgt. Daarbij is het zeer belangrijk je te realiseren dat de waarde van duurzame energie tot zijn recht komt als deze optimaal geïntegreerd wordt met de volgende stappen in de keten. Het is niet voor niets dat de eerste fabrieken



Figuur 7: Technologische innovaties van de industrie voor energie- en grondstoffentransitie en in het bredere systeemperspectief.

voor groen staal nu ontwikkeld worden in Noord-Zweden; daar is immers ijzererts volop voorhanden, en bovendien is daar volcontinu groene stroom uit waterkracht aanwezig. De groei van industrie voor ijzer ontwikkelt zich daar nu snel, maar ook voor bijvoorbeeld batterijfabrieken. Willen we tot optimale benutting van onze duurzame energiebronnen komen, en onze capaciteit voor opslag van CO₂ en waterstof in lege gasvelden goed benutten, dan zullen we moeten uitwerken hoe we de opwek, het transport, buffering en gebruik van groene stroom en groene waterstof maximaal inzetten om duurzame producten te produceren, zodat we waarde in onze economie creëren die duurzaam en competitief tot zijn recht komt in de wereldhandel.

3.2 Drivers die de slaagkans van innovaties bepalen

Er zijn in hoofdstuk 3 compacte beschrijvingen gemaakt van de beoogde subthema's die voor NL van belang zijn onder de deelprogramma's.

De drivers om in de transitie stappen te zetten worden samengevat in deze vier strategische overwegingen:

- Technologie rijpheid: transformatie volgt waar technologie marktpenetratie bereikt.
- Wereldwijde beschikbaarheid van technologie, kosteneffectief en op schaal.
- Verschuivingen in vestigingscondities op basis van beschikbaarheid van energie: beschikbaar komen van goedkope hernieuwbare energie in zon/windrijke regio leidt potentieel tot verplaatsing van energie-intensieve basisindustrie of waterstofproductie.
- Een maatschappelijke strategie met beleid en kader die de condities bepalen voor industriële investeringen. In de basis volgt die uit het klimaatakkoord en wordt ondersteund door instrumenten van de Europese Commissie (ETS, CBAM, IPCEI en Nationale stimulering)

Deze condities bepalen in hoeverre er een goede slaagkans is om nieuwe industrie tot wasdom te laten komen. Dit MMIP moet helpen om aan de hand van strategische analyse en kennis en innovatievragen scherp te krijgen langs welke lijnen de Nederlandse industrie zich kan gaan ontwikkelen. De bovenstaande overwegingen zijn daarbij het uitgangspunt van de analyse.

Hieronder zijn deze thema's uitgewerkt om zicht te krijgen op het soort innovatie-activiteiten dat beoogd wordt. In hoofdstuk 5 wordt op basis hiervan uitgewerkt wat de optimale Nederlandse innovatie-inzet zou kunnen zijn.

3.3 Deelprogramma 1 - Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem

De transitie naar een CO₂ neutrale en circulaire industrie leidt tot nieuwe ketens en afhankelijkheden. In dit deelprogramma ligt de focus met name op de transformatie binnen een bedrijf of cluster en de afhankelijkheden in de keten. Dit kan regionale afhankelijkheid tot gevolg hebben als het gaat om beschikbare energie of nabijheid van andere bedrijven. De rol van infrastructuur in de transitie komt aan bod maar daar ligt niet de nadruk, die wordt met name in deelprogramma 2 belicht. Dit deelprogramma bestaat uit de volgende subthema's:

- a. Inpassing van grootschalige energie-intensieve processen in een duurzaam gedreven energiesysteem.
- b. Inpassing van grootschalige koolstof circulariteit in een nieuw energie en grondstoffen systeem.
- c. Maatschappelijke inpassing van groene kunststof- en koolstofketens.
- d. Optimale opwek, benutting, hergebruik en uitkoppeling van proceswarmte in sites en clusters.
- e. Energie-integratie van Agro-food, papier en andere deelsectoren uit het zesde cluster.
- f. De afvalketen als grondstoffenbedrijf – circulariteit van complexe stromen

3.3.1 Inpassing van grootschalige energie-intensieve processen in een duurzaam gedreven energiesysteem.

Transformatie van de basisindustrie. In Nederlands is er een sterke vertegenwoordiging van grootschalige, energie-intensieve industrie, die bestaat uit een beperkte set grootschalige processen. Deze zware processen zijn hier historisch geland vanwege de goede logistieke ligging met zeehavens, en met de goede verbinding met het achterland, onder andere in het ARRA cluster. Voor deze hoofdprocessen worden de grondstoffen historisch voorzien vanuit kolen (voor staal), olie (raffinage en bulkchemie) en gas (voor ammoniak). Voor ieder van deze processen bestaan er verschillende opties om te verduurzamen, die meer of mindermogelijkheden voor inpassing toelaten met het groeiende aanbod van windenergie en de productie van waterstof. Op hoofdlijnen zien we het volgende beeld:

- Ruwijzer en Staal – wordt door Tatastaal geproduceerd uit ijzererts en kolen. De transitieroute die ingezet wordt is om de hoogoven te vervangen voor directe reductie en smeltovens. Dit gebeurt in eerste instantie aan de hand van aardgas maar zal met de groei van wind meer en meer over gaan op groene waterstof. Voorziening van waterstof zal komen uit drie bronnen, (1) eigen productie, (2) aanbod via de nationale waterstof backbone, en (3) import over zee van ver. Het perspectief is dat Tatastaal na deze omslag een aanzienlijke

CO₂-reductie zal behalen. Voor langere tijd zal in de transitie wel nog hoogoventechnologie en DRI naast elkaar bestaan.

- Raffinage – met 6 raffinaderijen in Nederland (Shell, BP, Exxon, Gunvor, Zeeland Refinery en Vitol Rozenburg) is deze sector sterk aanwezig. Ze voorziet in brandstoffen voor mobiliteit en in grondstoffen voor de chemie. Met de druk op CO₂-emissiereductie is de verwachting dat over tijd de vraag naar brandstoffen zal afnemen en een omslag zal gaan maken van fossiel naar hernieuwbaar, waarbij een aandeel koolstof-gebaseerde brandstoffen zal worden vervangen voor koolstof-vrij (waterstof, ammoniak) en een deel uit hernieuwbare koolstof zal moeten komen. Voor de korte termijn zal de eigen emissie aangepakt worden langs twee hoofdlijnen, (1) door de restgassen die nu gebruikt worden voor verwarming te ‘ontkolen’ via het H-vision project waarna de CO₂ opgeslagen wordt en de waterstof voor verbranding ingezet; en (2) die huidige inname en productie van waterstof voor een aantal processen zal vanuit gas uitfaseren naar elektrolyse. Op de langere termijn zal gekeken moeten worden wat de rol van koolstof-gebaseerde brandstoffen wordt en hoe die duurzaam gewonnen kan worden. Routes voor synthetische productie van brandstoffen (o.a. methanol en Fischer-Tropsch synthese) zijn zeer energie-intensief en zullen ruime hoeveelheden groene waterstof nodig hebben. Daarnaast zal ook de koolstof duurzaam gewonnen moeten worden. Het is te voorzien dat dit voor een groot deel uit import ingevuld gaat worden.
- Ammoniak – wordt op dit moment door twee bedrijven vanuit gas geproduceerd op zeer grote schaal. Het proces kan vrij direct omgezet worden naar productie uit groene waterstof. De rol van ammoniak gaat echter, naast zijn traditionele rol als grondstof voor kunstmest en materialen, ook die van energiedrager spelen. Er ligt een toekomst voor ammoniak als internationale energie commodity en import zal een grote rol gaan spelen. Daarmee is de ombouw en transitie van deze sector in Nederland nog redelijk open omdat de rol gaat veranderen en het energie-aanbod zich nog moet gaan ontwikkelen.
- Bulkchemie vanuit nafta krakers – er zijn drie grote bedrijven die vanuit nafta een palet aan hoogwaardige chemische bouwstenen produceren (olefinen en aromaten) waarop een groot deel van de chemische industrie is gebouwd. Om directe uitstoot te vermijden is de CCS-route de eerste snelle stap die er gezet kan worden, gelijk aan die van raffinaderijen. Daarnaast is er de mogelijkheid om fornuizen de elektrificeren en daar wordt nu ook technologie voor ontwikkeld door alle drie de bedrijven die actief zijn in Nederland, en ook door de sector breder in de wereld.

Voor al deze processen is traditioneel de operatie zeer stabiel en volcontinu in bedrijf. Flexibele operatie binnen een beperkte range (tot zo'n 10 a 20 % van het volume) op een trage tijdschaal (weken) is mogelijk, maar snellere variaties is technisch niet mogelijk door de schaal en heeft risico's voor veiligheid en voor het ontstaan van schade. De

grootschalige baseload energievraag staat op gespannen voet met de variabiliteit van offshore wind en zon. Grootschalige systeemintegratie en optimalisatie is cruciaal om deze sectoren in Nederland de omslag naar elektrificatie te laten maken. Al deze producten worden ook verhandeld op een wereldmarkt, en de halffabricaten in sommige gevallen ook. Ieder bedrijf heeft proces innovaties in ontwikkeling, heeft geïntegreerde sites waarvan de huidige energie en massabalans over jaren geoptimaliseerd is op basis van de fossiele energiebronnen, heeft een klantenbestand waar vaak intensief mee wordt samengewerkt wordt, en is kennisintensief, waarbij vaak binnen de sector, en over de sectoren heen wordt samengewerkt op allerlei vlakken, waardoor deze bedrijven de spil in een economisch en kennisintensief ecosysteem vormen. Er zijn veel keuzes te maken voor de optimale route naar een CO₂ neutrale energievoorziening, die sterk afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van (een set aan) bronnen en grondstoffen, en die ook samenhangen met de ontwikkeling van een wereldmarkt die nog amper in de kinderschoenen staat en een grote ontwikkeling door gaat maken. Daarnaast maakt dat de investeringen die gedaan moeten worden om de omslag te maken zeer groot zijn en om een langjarig commitment vragen, waardoor onzekerheden die deze investeringen in de weg kunnen zitten zoals de trekkracht van de Verenigde Staten vanuit de Inflation Reduction Act, geopolitieke verschuivingen, en weifelende politieke steun in Nederland en Europa het maken dat de weg vooruit voor ieder van deze bedrijven op hun huidige locatie moeilijk te overzien is. Het palet ligt open om enerzijds de meest toonaangevende groene industrie-hub in de wereld te worden, en anderzijds om de bestaande fabrieken tot de laatste druppel uit te melken met minimale investeringen totdat het door import vervangen wordt, met grote toename van externe afhankelijkheden en afnemende economische trekkracht mogelijk tot gevolg.

Deze complexiteit maakt dat de reeks aan individuele keuzes samenhangen met de systeemvraag op hogere niveaus. Meer inzicht in de afhankelijkheden, en meer inzicht in de risico's van bepaalde besluiten en tempo van opbouw van duurzame energie gaan helpen om de besluitvorming voor de ontwikkeling van groene industrie mogelijk te maken.

Kennis- en innovatievragen

Kennis en innovatievragen die meer inzicht moeten geven om tempo, haalbaarheid, en omvang van deze industrie in de Nederlandse context:

- Welke trends en verwachtingen zijn er voor de producten uit deze sectoren en welke rol hebben wereldwijde trends daarbij op het perspectief van Nederlandse productie?
- Hoe is de nationale industrie verbonden in internationale ketens en hoe kan die zich op de lange termijn door ontwikkelen? Hoe afhankelijk zijn ze van import of hoe kan de rol vervangen worden door import? Is dit een bedreiging

of een kans voor Nederland? Dit geldt zowel voor de grondstoffen en halffabricaten als voor de (groene) producten. Vanuit de Nederlandse havens worden producten zowel naar het achterland doorgevoerd, als overzee naar andere landen en continenten.

- Hoe zien de transitiepaden na 2030 er per sector en per cluster uit, en welke keuzes hebben bedrijven, welke opties zien ze daarin als aantrekkelijk en welke opties juist niet? Hoe hangen deze opties af van externe ontwikkelingen zoals offshore windproductie en CCS-capaciteit?
- Welke eisen moeten er aan het energiesysteem gesteld worden om de transitie in de industrieclusters mogelijk te maken? Kan de keten van het energiesysteem van opwek tot toepassing in de zware industrie ontworpen worden, en kan dit samen met het veld gedaan worden? Welke keuzes en dilemma's in kosten-baten verdeling volgen hieruit?
- Hoe sterk zijn de ecosystemen rond deze bedrijven ontwikkeld en welke maatschappelijke rol speelt die? Denk aan metallurgische kennis ontwikkeld bij Tatasteel die toegepast wordt in de verwerkende sector in Brabant, de materialenkennis in de kunststoffen industrie, of de verbinding tussen een kunstmestsector en de agro-foodsector.
- De rol en impact van beleid op de ontwikkeling van industrie-transitie op provinciaal, nationaal, Europees en internationaal niveau.

3.3.2 Inpassing van grootschalige koolstof circulariteit in een nieuw energie en grondstoffen systeem

Volgend op de inpassing in het energiesysteem is de vraag hoe met grondstoffen voor de koolstof-gebaseerde industrie omgegaan moet worden. Dit gaat met name over de bulk-chemie voor onder andere kunststoffen, en over de raffinagesector en de langere termijn rol van koolstof-gebaseerde brandstoffen. Er zijn drie duurzame routes voor koolstof-voorziening, ieder met hun mogelijkheden en beperkingen:

- Biomassa – voor een lange-termijn inzet van biomassa wordt er vooral gezocht in hoogwaardige inzet als grondstof voor producten en materialen. Traditioneel wordt er natuurlijk al hout en plantaardige vezels gebruikt voor bouwmaterialen, textiel en papier en karton. Verdergaand gebruik naar bioplastics en andere hoogwaardige toepassingen speelt een rol. De uitdaging is echter dat de maat van biomassa beschikbaarheid, en de logistieke uitdagingen, zich moeilijk verhouden tot de grootschaligheid van de fossiel-gebaseerde ketens. Daarom zal er voor specifieke hoogwaardige toepassingen mogelijk een rol zijn, de rol van grootschalige toepassingen zal steeds goed gebalanceerd moeten worden met alternatieven en milieueffecten.
- Afvalstromen – hieronder vallen onder andere huisafval en plastics. Voor end-of-life circulariteit door de maatschappij is dit een belangrijke route. Complexiteit zit hem onder andere

in kwaliteit van afvalstromen, en kosten voor opwerking naar grondstoffen. De logistiek, rol in de keten en end-of-waste regulering spelen hierin allemaal een grote rol voor de haalbaarheid van deze ketens.

- CO₂ uit de lucht – direct air capture – is een belangrijke route om koolstof in handen te krijgen die zo zijn eigen uitdagingen heeft. De verwachting is dat de footprint (het ruimtebeslag) van de technologie groot is, de efficiency laag (er zit weinig CO₂ in de lucht en omzetting vraagt heel veel energie) en de technologie nog niet uitontwikkeld. Het is echter wel een belangrijke route om duurzaam koolstof beschikbaar te hebben. Hoe deze op schaal van de industrie gaat komen, en vooral ook waar op aarde, is echter nog een grote vraag.

De ombouw van de industrie om deze routes op te nemen vraagt om een strategische heroriëntatie en een breed debat – over de rol van koolstof-gedreven industrie in Nederland en over de rol van Nederland daarin in Europa en in de wereld. En over de rol van industrie in de maatschappij en economie. In recente publicaties van Gert Jan Kramer (www.sustainableindustry.nl) wordt bijvoorbeeld enerzijds gekeken hoe de productmix eruit kan gaan zien, en anderzijds hoe die gesourced kan worden en daarbovenop, welke conversiestappen (industriële processen) daar dan voor nodig zijn. Hieruit volgt een denkrichting over een industrie-portfolio, die dan ongeveer 20 megaton koolstof circulair omzet in industriële producten. Deze ombouw uitdaging is de grote opgave die we hebben als we de grote stappen naar emissiereductie in de vingers hebben. Het denkwerk daarvoor, en het debat daarover moet nu breed gevoerd worden.

Kennis- en innovatievragen

Keten- en systeemaspecten die hiermee samenhangen en die fundamentele onderzoeksvragen opleveren zijn de volgende:

- Hoe schalen de verschillende routes op en hoe passen we die ruimtelijk in en welk beslag legt iedere route op het toekomstig energiesysteem?
- Hoe bereiken we de schaalgrootte en welke mix van deze routes gaat daarin zorgen voor voldoende grondstofvoorziening? Welk portfolio van industrie zien we daarvoor voor de lange termijn als noodzakelijk en moeten we ontwikkelen? Welk ambitieniveau past daarvoor bij Nederland? En hoe ontwerpen we dan de hele constellatie van ketens en processen daarvoor?
- Het merendeel van de producten wordt nu geëxporteerd en de koolstof zal dus ook voor een groot deel van elders aangevoerd moeten worden. Welke scenario's gaan zich daarin ontwikkelen?
- Traditioneel is het energie-deel ongeveer 10 keer groter dan het grondstofdeel. Hoe gaat daarin de verhouding liggen tussen koolstof als grondstof en koolstof als energiedrager?
- Hoe gaat het hele complex van chemische bedrijven de omslag van fossiele naar duurzame koolstof maken?

Zowel de basis als de halffabricaten kunnen direct vergroenen. De ketens in de chemie zijn echter sterk verbonden, dus hoe gaat dit als systeem zich door ontwikkelen?

3.3.3 Maatschappelijke inpassing van groene kunststof- en koolstofketens.

Met de grote focus op CO₂-emissiereductie en de zorg om het klimaat wordt soms wel eens vergeten hoe belangrijk en fundamenteel de rol van koolstof in de maatschappij is voor het dagelijks leven. Heel veel alledaagse handelingen en producten komen in aanraking met koolstof – van voeding, tot gebruik van papier, tot allerhande bouwmaterialen, tot de benzine en diesel in de auto en de elektriciteit waarop de huishoudens draaien. De opgave is nog amper begrepen, hoe deze complete stroom om te bouwen tot een duurzame koolstofvoorziening en energievoorziening, en wat dat van de maatschappij vraagt. Los nog van de grote doorvoerfunctie die we ook voor koolstof als Nederland vervullen voor het Europese achterland.

Er is veel aandacht voor circulair gebruik van plastics. Enerzijds is er een groot milieuprobleem met plastic dat op alle fronten aangepakt moet worden, en er is veel draagvlak om daar iets aan te doen. Anderzijds zijn de kunststofketens wereldwijd georganiseerd, leveren die een heel breed scala aan producten, en bedient de productie in Nederland het hele Europese achterland en nog verder, aangezien zo'n 80% van de producten geëxporteerd worden.

Als we, volgend op subthema b. een techno-economisch beeld vormen over hoe de circulaire koolstofketen zich kan gaan vormen en als we een beeld hebben welke rol de verschillende bronnen daarin spelen en welke ruimtelijke inpassing dit vraagt, dan gaan we ook een beeld vormen van wat dit vraagt van de maatschappij. De afwegingen van energiegebruik (industrie ten opzichte van mobiliteit, gebouwde omgeving, agro-food), landgebruik (voor opwek van energie en voor logistiek en conversie), en het maatschappelijk gedrag (inzameling en verwerking, kosten-baten en verdienmodellen) zullen allemaal hun invloed hebben op de uiteindelijke realisatie. Maatschappelijk draagvlak vertaalt zich in politiek draagvlak wat cruciaal is om deze omslag voor de lange termijn door te kunnen voeren.

Kennis- en innovatievragen

Hieruit volgen de onderzoeksvragen over de maatschappelijke kant van koolstofcirculariteit:

- Welke maatschappelijke impact hebben de verschillende routes van koolstof circulariteit?
 - Denk hierbij aan brede fysieke impact (ruimte, zichtbaarheid, gezondheid, logistieke bewegingen, overlast,

bijdrage aan brede emissiereductie (alle broeikasgassen) en milieueffecten etc),

- Economische impact (verdienvermogen, haalbaarheid en afwegingen, maatschappelijke vs private kosten-baten),
- Maatschappelijke impact (welke doelgroepen of gemeenschappen worden betrokken en 'geraakt', wat is de perceptie en betrokkenheid, wat is de rol van deze groepen? Wat zijn positieve effecten (bijv. werkgelegenheid, gezondheid) en negatieve effecten (overlast, kosten),
- Wat zijn de trade-offs tussen kosten en baten? En hoe worden die verdeeld over de verschillende actoren en partijen? Wat is daarin de 'rechtvaardige' keuze voor wie?
- Hoe wordt maatschappelijk draagvlak beïnvloed en hoe kan dit gerealiseerd worden om koolstof-circulariteit breed draagvlak te geven? Wat moet er geborgd zijn om dit te waarborgen?
- Hoe wordt hierover het brede maatschappelijke debat gevoerd en met welke partijen? Hoe borgen we dat degelijk feitenmateriaal het debat voedt en daarin een belangrijke rol blijft spelen om te zien wat de echte afwegingen zijn?

3.3.4 Optimale opwek, benutting, hergebruik en uitkoppeling van proceswarmte in sites en clusters

Voor het maatschappelijk gebruik van de groene energie die we op de Noordzee gaan opwekken, en die we met zon en wind ook op land gaan produceren is het belangrijk dat we de maximale waarde van deze energie benutten. Elektriciteit is een van de meest hoogwaardige vormen van energie, omdat je er warmte op alle temperatuurniveaus van kan maken, en omdat je er direct moleculen mee om kan zetten zodat je andere energiedragers over houdt. De maximale verwaarding van deze energiestroom betekent dat wanneer je van hoogwaardige naar laagwaardige energiestromen gaat je graag de energie zoveel mogelijk nuttig gebruikt. Daarbij wordt in de industrie energie heel veel als warmte gebruikt om de processen aan te drijven, en die spelen zich af op (zeer) hoge temperaturen – van 200 tot meer dan 2000 °C.

Binnen industrie-sites wordt er al heel veel gekeken hoe de warmte die een proces op bijv. 1000 °C in gaat en op bijv. 800 °C het proces weer uit, in een ander proces hergebruikt kan worden. Dit heeft tot sterke koppelingen en integraties geleid, met een hoge procesefficiency. De warmte cascadeert door totdat er een niveau bereikt wordt onder de 100 °C en deze niet meer nuttig gebruikt kan worden.

Door toepassing van groene stroom voor hoge temperatuurwarmte ontstaan er een aantal bijzonderheden:

- De stroom is duur omdat enerzijds deze man-made is in plaats vanuit fossiele bronnen. Anderzijds nemen kosten toe om met de variaties om te gaan. Dit zal vragen om maximale efficiency bij inzet, dus cascadering blijft belangrijk en gebruik

van warmtepompen gaan een grote rol spelen binnen de industrie.

- Bij geïntegreerde sites is de energiebalans geoptimaliseerd door bestaand cascadering. Elektrificatie levert direct efficiency ten opzichte van het verbranden van gassen omdat bij verbranding ook de gasstroom zelf opgewarmd moet worden tot verbrandingstemperatuur. Veel van deze stroom wordt ook teruggewonnen, maar dit valt dus geheel weg bij elektrificatie. De beschikbare warmte voor cascadering neemt significant af en elektrificatie en hergebruik downstream krijgt een kans. Daarnaast levert dit ook grote bijstromen op met waarde (restgassen worden niet meer verbrand, maar je moet er wel iets mee) waarvan de inzet nog niet direct helder is. Site-transformatie is bij geïntegreerde sites dus een uitermate complexe exercitie.
- De restwarmte die na ombouw en elektrificatie nog steeds uit de industrie komt is dan ook groene warmte, duurzame bron. Normaliter wordt deze met koeling in de atmosfeer of aan oppervlaktewater afgegeven. Hergebruik in de gebouwde omgeving is heel goed mogelijk omdat deze warmte veelal boven de 50 °C zit. Het kan dus heel kosteneffectief zijn om deze in te zetten, maar maatschappelijk begrip en acceptatie is niet vanzelfsprekend.

Kennis- en innovatievragen

Dit roept de volgende onderzoeksvragen op:

- Er zijn methodieken nodig om site-wide transformatie van energie en warmte te ondersteunen. Enerzijds gaat dit om warmte systemen, anderzijds gaat dit om elektrische systemen. De rol van verschillende opslagvormen, van flexibele bronnen (hybride systemen zoals e-boilers bijv.) en van hoog-efficiënte technologie zoals warmtepompen en damprecompressie hebben allemaal een plek. Hoe deze stapsgewijs te introduceren en daarbij de site energiebalans te garanderen is uitermate complex. Methodes en aanpakken om dit optimaal te introduceren zijn belangrijk. Methodes om daarbij ook overzicht te houden op het aanbod aan mogelijke technieken en wat hun optimale inzet is, is daarbij zeer belangrijk. Dit gaat zowel om platformen en kennisuitwisselingen, als om (publieke) voorbeeld cases, als om fysieke demonstraties.
- Er is meer begrip nodig van de mogelijkheden van warmte uitkoppeling en hergebruik en een breed begrip van kosten-baten verdeling over deze beschikbare warmtebron. De industrie kan de warmte vrijwel kosteloos ter beschikking stellen (de industrie heeft juist koeling nodig), maar in traditionele verdienmodellen wordt dit 'verkocht' als een energie-service. Het maatschappelijk rendement is er zeer bij gebaat als er vanuit innovatieve aanpakken gekeken wordt hoe warmtenet infrastructuur ontwikkeld kan worden en uitgebaat kan worden als deze vanuit een maatschappelijk functie bedreven wordt in plaats vanuit een economisch monopolistisch verdienmodel.

- Een belangrijke onderzoeksvraag is daarbij hoe bij kan dragen aan maatschappelijk draagvlak, brede acceptatie, brede benutting door een hoge graag van aansluiting, borging van maatschappelijke zorgen over niet-te-overziene kosten voor energie en isolatie/woning aanpassing

3.3.5 Energie-integratie van Agro-food, Papier en andere deelsectoren uit het zesde cluster.

Een specifieke uitdaging is weggelegd voor bedrijven die niet opgenomen zijn in een van de grote industrieclusters, ook wel aangeduid als zesde cluster. Deze bedrijven zijn vaak stand-alone, of los verbonden in een industrie-omgeving op een kleiner industrieterrein. Denk aan voedingsmiddelenbedrijven zoals de zuivel sector, de agro-food coöperaties voor suikerbiet en aardappel verwerking, de frisdranken en sappen sector; denk aan de papiersector, onder andere historisch aanwezig in de omgeving van Renkum vanwege de goede waterkwaliteit, en denk ook aan de glas en keramiek sector die op basis van aardgas op zeer hoge temperatuur hun producten maakt, de kunststoffen en metaal verwerkende sector die onder andere in Brabant gevestigd is, en de high-tech sector die op meerdere plekken door het land gevestigd is.

Al deze bedrijven hebben bijzondere uitdagingen. Om de emissies van hun energiegebruik te vermijden zijn er in het algemeen drie opties – gebruik van stroom (elektrificatie), gebruik van CCS en eventueel gebruik van waterstof. Alle drie deze opties komen alleen tot stand als er een goede infrastructuur verbinding is. De kans daarop is buiten de grote clusters een stuk kleiner dan binnen de clusters. Daarnaast vraagt integratie van ieder van deze technieken veel investeringen en aanpassingen:

- Ombouw van gas naar elektrische warmte is een aanpassing van de energiebalans nodig die zeer ingrijpend kan zijn, zeker in bestaande fabrieken. Een warmtepomp die restwarmte opwaardeert is zeer efficiënt maar vraagt ook om een koppeling tussen de 'achterkant' van de fabriek (de koeltoren of andere voorziening voor koeling) en de 'voorkant' (de stoomketel), heeft baat bij lagere warmte inzet dan een stoomketel (bijv. 90 °C warm water i.p.v. 160 °C stoom)
- Dit kan ook leiden tot andere productkwaliteit (bijv. bij verbranding van waterstof i.p.v. aardgas ontstaat een ander chemisch klimaat in de oven wat tot andere producteigenschappen leidt).
- CCS-aansluiting vraagt om een verbinding met een CO₂ leiding, die is buiten de clusters vrijwel niet voor handen of moet tegen forse kosten aangelegd worden.
- Inzet van waterstof kan eventueel met eigen productie maar de benodigde opslag voor stabiele productie is onoverkomelijk groot en de efficiency-verlies door meerdere conversies maakt dit duur. Een verbinding met de waterstofbackbone kan dit (deels) ondervangen, maar timing

en aansluitmogelijkheden zijn onzeker.

- Naast de individuele uitdagingen van bedrijven voor deze ombouw is er ook de vraag over beschikbaarheid en timing van infrastructuur zoals elektrische aansluiting. Daarbij speelt dat het variabele aanbod enerzijds leidt tot netcongestie problematiek en anderzijds leidt tot aansluitkosten en andere problematiek. Er wordt om dit te ondervangen gekeken naar onder andere lokale clustervorming (energy hubs), cable pooling en andere oplossingen, maar dit zijn individuele trajecten die minder goed breed bekend zijn.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen en innovatie opgaven:

- Hoe realiseer je het meest optimaal emissiereductie door warmte integratie en elektrificatie van op zichzelf staande industrie?
- Hoe ga je om met flexibiliteit? Hoe ziet de balans tussen eruit tussen efficiency en maximaal benutten van de stroompieken met lage kosten? Waar zitten kosten en baten over de energieketen en hoe verdeel je de flex opgave tussen energie aanbieder en gebruiker, en hoeveel variabiliteit mag je uiteindelijk aan de poort verwachten?
- Wat zijn barrières en kansen bij inzet van duurzame energie uit de directe omgeving van het bedrijf? Hoe spelen regelgeving en beleid daar een rol in?
- Hoe ga je om met robuuste inzet van stroom die van nature een groter risico heeft op zeer snelle uitval dan gas of andere bronnen (risico op stroomstoringen?)?
- Welke kansen en mogelijkheden biedt samenwerking met aanbieders en gebruikers in de directe omgeving? Welke (energie-)diensten kan je aan elkaar en aan de omgeving bieden die meerwaarde heeft voor de lokale gemeenschap?
- Welke combinaties van energiegebruik kunnen een hogere waarde opleveren? Inzet van warmte uitwisseling tussen bedrijven, warmte uitkoppeling naar de gebouwde omgeving, variabel gebruik van stroom slim combineren om netbelasting tegen te gaan.
- Hoe organiseer je samenwerking tussen opwek, gebruik, opslag en transport slim met de verschillende stakeholders?
- Hoe ontwikkelen en verspreiden we best-practices voor groen energiegebruik in decentrale industrie zo slim mogelijk?

3.3.6 De afvalketen als grondstoffenbedrijf – circulariteit van complexe stromen

De afvalsector heeft in de toekomstige duurzame maatschappij een bijzondere rol te vervullen. Waar ze traditioneel gericht is op inzameling en verwerking aan de achterkant van de keten, maakt ze opeens de koppeling terug naar de voorkant. Voor specifiek glas en papier wordt dit al grootschalig gedaan in de maatschappij, en is Nederland in sommige opzichten zelfs een koploper. De afvalstroom is echter veel breder. Vanuit het huisvuil wordt inmiddels al veel gescheiden ingezameld via de

scheidingsstations die veel gemeenten al ingericht hebben. Naast het huisvuil zijn er ook de stromen uit de industrie, bijvoorbeeld snij-afval bij materialenverwerking (metaal bij machining, kunststoffen bij kunststofverwerking, etc.) en verwerkingsafval, bioafval (tomatenstelen uit kassen die eens in de zoveel tijd opnieuw aangeplant worden) en zo zijn er nog veel meer categorieën. Er kan veel bij gebaat zijn hoogwaardige stromen vroeg in de keten gescheiden te houden en terug te brengen naar de fabrikant vooraan in de keten, maar een groot deel van de stromen vermengd onderweg, waardoor hoogwaardige opwerking om geavanceerde scheidingstechnieken vraagt (mechanisch en chemisch) en waarbij er altijd een residu stroom over blijft. Daarnaast is er een trend voor design voor hergebruik ingezet die langzaam steeds meer vorm begint te krijgen. Met name zeldzame materialen en grondstoffen, zoals voor bijvoorbeeld magneten in windmolens, is er momenteel veel aandacht omdat de beschikbaarheid wereldwijd beperkt is en de behoefte alleen maar heel hard toeneemt. Hiervoor is recent Europese regelgeving ontwikkeld die langzaam maar zeker ingevoerd wordt.

Op dit kruispunt van maatschappelijke ontwikkelingen speelt de afval keten een zeer belangrijke rol - de afval keten transformeert voor een belangrijk deel naar een groot grondstoffenbedrijf. Daarbij is het belangrijk je te realiseren dat die zich ook nog in veel verschillende vormen manifesteert en daar veel verschillende eisen aan gesteld worden. Van sloopbedrijven naar traditionele afval inzamelaars naar industriële afvalverwerkers naar rioolwaterzuiveringsbedrijven naar mestvergisters. De variabiliteit van het soort spelers is hoog, de toegevoegde waarde varieert breed, de maatschappelijke waarde is groot en de ontwikkeling van brede kijk op verregaande circulariteit ontbreekt grotendeels nog – zowel in de sectoren als in de bredere maatschappij.

Kennis- en innovatievragen

Innovatie en onderzoeksvragen die hieruit volgen:

- Op welke manieren krijgen we een brede kijk op de rol van circulariteit in de maatschappij? Hoe krijgen we zicht op de maatschappelijke waarde en het belang? Hoe borgen we dat we brede circulariteit ontwikkelen voorbij *cherry picking*?
- Wat is de rol van circulariteit bij kritische materialen en hoe organiseren we dat in Nederland?
- Wat is de kijk vanuit de afvalsector op haar rol in een circulair maatschappelijk-industrieel systeem?
- Welke trade-offs moet je maken tussen economy-of-scale en economy-of-chain om de balans te vinden in de verwerking van reststromen tussen decentraal en centraal?
- Moet je voorkomen dat reststromen met maatschappelijke waarde maar lage economische aantrekkelijkheid naar derde landen verscheept worden om daar verwerkt te worden? Of biedt dat kansen aan landen in andere regio's om een economische symbiose te vormen omdat energie tegen

lagere kosten voor handen is? En hoe doe je dat dan op een rechtvaardige manier, niet om te 'dumpen' maar om een gelijkwaardige relatie te ontwikkelen?

3.4 Deelprogramma 2 – Infrastructuur en opslag

De introductie van groene stroom als hoofd energiedrager, en de introductie van waterstof als grondstof en energiedrager leidt tot compleet nieuwe energiebalansen op de grote geïntegreerde sites van de zware industrie. De elektrificatie (direct of indirect) vergt grootschalige aanpassingen in de infrastructuur om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen of door middel van conversie en opslag flexibiliteit te bieden, zodat het systeem in balans blijft.

Daarnaast gaat circulariteit grote logistieke veranderingen met zich meebrengen met impact op de infrastructuur en zullen regionale tot wereldwijde verschuivingen plaatsvinden van import en export van energiedragers. Ook zullen energie-intensieve processen en bedrijven mogelijk verplaatsen naar plaatsen waar ruim duurzame energiebronnen een plek hebben.

In dit deelprogramma ligt de focus op de rol van nieuwe infrastructuur inclusief opslag als onderdeel van hiervan als basis voor de systeeminpassing van de elektrificatie van de industrie. De rol van een goede (energie)infrastructuur is de spil in het koppelen van vraag en aanbod van energiedragers en grondstoffen en is essentieel om duurzaam schone industrie activiteiten te borgen. Infrastructuur en opslag zorgen voor marktforming op (energie-) commodities, op uitwisseling en verbinding tussen bedrijven en om daarmee door het bij elkaar brengen van bedrijven in een ecosysteem efficiency mogelijk te maken waardoor tegen lage kosten producten en diensten betrouwbaar geleverd kunnen worden voor de maatschappij.

Dit deelprogramma bestaat uit de volgende subthema's:

- Technologieontwikkeling en concepten voor infrastructuur en opslag op bedrijfsniveau.
- Technologie en strategie op cluster- of bedrijfsterrein-niveau op het vlak van energie en grondstoffen, en energie infrastructuur.
- Sectorale strategie met sectorspecifieke kansen en herhaalbare oplossingen voor industriële transformatie.
- Nationale en internationale systeem optimalisatie en impact op economie, maatschappij en milieu.

3.4.1 Technologieontwikkeling en concepten voor infrastructuur en opslag op bedrijfsniveau

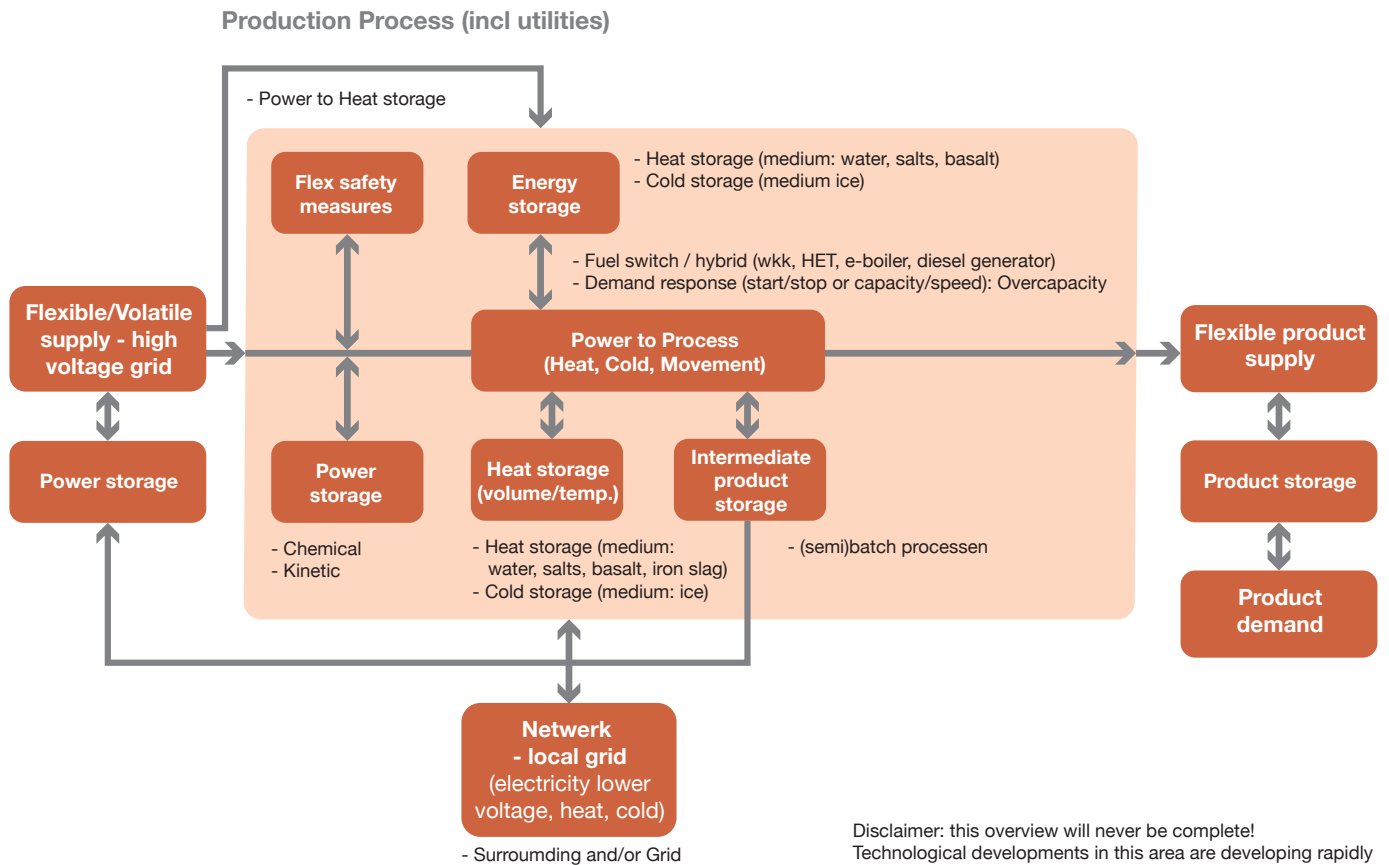
De infrastructuur binnen de grenzen van een bedrijf bestaat uit alle installaties die rond de kernprocessen ondersteuning geven aan het proces. We denken enerzijds aan utiliteit als warmte

(stoom, warm water), gassen, perslucht, elektriciteit, water. Anderzijds denken we aan de infrastructuur voor het aanbod van grondstoffen en transport van halffabricaten, producten, bijproducten en afvalstromen. Het hele systeem binnen een plant of site is ontworpen voor robuuste bedrijfszekerheid, zodat het kernproces kan opstarten, opereren, gestuurd kan worden op kwaliteit, en maximale productie kan leveren. In de loop der jaren is het systeem ook vaak doorontwikkeld of aangepast op energie-efficiency.

Binnen fabrieken zijn alle infrastructuur systemen erop gericht het kernproces te ondersteunen en daarin een hoge mate van (energie) efficiency te bereiken door onder andere optimale koppeling van warmtestromen (pinch optimalisatie en cascadering). Met de omslag van processen die gedreven zijn door fossiele energiedragers naar elektrisch gedreven processen of waterstof (of derivaten) gedreven processen gaat binnen een bedrijf vaak een groot deel van de energiebalans veranderen. Daarnaast worden nieuwe eisen gesteld aan bedrijfszekerheid, flexibiliteit, en proces efficiency. De maatregelen die je daarvoor kan nemen zijn legio, figuur 7 geeft een goed overzicht. Globaal kan je kijken naar de volgende opties:

- Hybridisatie – het proces gebruikt stroom wanneer dit voor handen is tegen lage kosten, de e-boiler is daarvan een goed voorbeeld.
- Flexibele operatie – het proces gebruikt stroom en volgt (deels) het aanbod. Productieverlaging bij oplopende stroomprijs kan economisch aantrekkelijk zijn als energie een groot deel van de kosten is, en als het proces dit toelaat. Bij chloor-alkali productie en zinkproductie wordt dit toegepast.
- Energieopslag – het kan in sommige gevallen aantrekkelijk of noodzakelijk zijn om energie op te slaan (door warmte, elektrisch of andere vorm) om de infrastructuur te ontlasten en surplus aanbod met lage prijzen en tekorten in aanbod met hoge prijzen op te vangen en te overbruggen.
- Product opslag – het kan aantrekkelijk of nodig zijn om grondstoffen of tussenproducten op te slaan – denk aan een gasopslag om continue procesvoering bij gas gedreven processen te borgen (bijv. bij inzet van waterstof bij ijzerreductie) of verderop in de productieketen om variaties in energie-intensieve stappen op te vangen bij stabiele operaties die minder energie-intensief zijn.

Bij al deze aanpassingen zijn er veel alternatieven die elkaar uitsluiten, en zijn er veel combinaties mogelijk, en er is veel technologie in ontwikkeling, waardoor optimale ombouw complex kan zijn.



Figuur 8: Overzicht van inzet van elektriciteit in een kernproces en de rol van verschillende vormen van maatregelen om flexibiliteit rond het kernproces vorm te geven.

Kennis- en innovatievragen

Innovatie opgaven die hier een rol spelen:

- Dynamische processturing – vraagsturing – zal een steeds grotere rol spelen. Maar hoe ontwerp je een flexibele fabriek? En hoe bouw je de fabriek om bij een toenemende vraag naar flexibiliteit, waar moet je van uit gaan? Elektrisch gedreven kernprocessen (o.a. bij elektrolyse van water, chloor, zink, aluminium) kunnen al reageren, maar naar mate de mate van flexibiliteit groter moet worden zal dit ook meer vragen van de hele fabriek. Van unit flexibiliteit gaat dit naar plant flexibiliteit. Er is veel behoefte aan ontwerpprincipes en aanpakken voor flexibele fabrieken.
- Hoe ga je om met variabel aanbod van stroom en beperkte aansluitmogelijkheden door netcongestie als het kernproces niet of maar in beperkte mate variaties aan kan? Welke vormen van opslag (warmte, elektriciteit, moleculen) of combinaties hiervan rond of in het proces spelen een belangrijke rol en welke vormen zijn economisch het meest aantrekkelijk?
- Welke afweging moet je maken tussen efficiency en flexibiliteit? Een hoog-flexibel proces vraagt om een zware infrastructuur om de pieken te kunnen transporteren en opvangen. Een hoog-efficiënt proces heeft vaak geen of beperkte flexibiliteit om buiten zijn efficiënte werkpunt te opereren. De afweging tussen flexibiliteit en efficiency is niet rechttoe-rechtaan – er is behoefte aan tools om de afwegingen inzichtelijk te maken bij (her-)ontwerp van de processen.
- Welke elektrische conversiestappen zijn er nodig om van opwek tot gebruik te komen, en hoe voorkom je conversieverliezen? Van laag- naar midden- naar hoogspanning en weer terug wordt er veel omgeschakeld. Bij lange-afstand transport, maar ook in de toepassing, wordt er gekeken naar HVDC, MVDC en naar transformatiestappen in deze systemen. Deze hebben grote impact, op kosten en ruimtebeslag op de industriesites en bij de transformatiestations.
- Er komen steeds vaker expertises en kennisdisciplines bij elkaar die veel meer op elkaar zijn aangewezen – elektrotechniek en proces technologie. Elektriciteit, moleculen en warmte moeten veel meer als een gezamenlijk systeem opereren. High-tech maakindustrie botst op proces engineering en custom bouw. Deze werelden hebben eigen taal, symbolen, gebruiken, standaarden, en eigen gedrag (heel snelle reactie tegenover trage veranderingen in grote processen). In procesindustrie is er veel ervaring en kennis rond opbouw en gebruik van warmtesystemen op basis van gas. De inzet van grootschalige elektriciteit is minder algemeen bekend. De manieren waarop het ingezet kan worden, de bekendheid met de elektrotechniek en rol bij

ondersteuning van processen is minder breed bekend. Bij verdergaande ontwikkeling van elektrische gedreven processen zal er veel behoefte zijn om op het raakvlak van elektrotechniek en procestechiek kennis te bundelen om vaklieden op alle niveaus op te leiden die zich in deze werelden thuis voelen en de brug kunnen slaan.

3.4.2 Technologie en strategie op cluster- of bedrijfsterrein-niveau op het vlak van energie en grondstoffen, en energie infrastructuur

Buiten de poort van een plant speelt zich nog veel meer af dat sterk verknoopt raakt met wat er binnen de plant mogelijk is. We verbreden de blik buiten de plant. Dan doen zich een paar situaties voor:

- Basisindustrie, energie en grondstoffen (vgl. 1.1 en 1.2) – bij de basisindustrie is er op de site al sprake van een samenstel van fabrieken die onderling energiestromen en grondstoffen uitwisselen, en waar vaak ook een energiecentrale (WKK) deel van het systeem uitmaakt. Naar het netwerk buiten toe wordt de site vaak als een eenheid gezien, intern zijn de onderlinge fabrieken sterk verbonden met verschillende infrastructuur (elektrisch, stoom, gassen, warmte, halfproducten). Ombouw naar duurzaam en circulair binnen zo'n verknoopte site is een uitermate complexe opgave, die ook nog planning en samenwerking tussen meerdere bedrijven op het terrein vragen.
- Binnen industrieclusters doet zich iets vergelijkbaars voor, soms op een nog grotere schaal. In Chemelot is de situatie goed vergelijkbaar met wat hiervoor beschreven was, kijk je in Rotterdam dan gaat het over een gebied van 50 km lengte (van binnenstad tot Tweede Maasvlakte). Ook op deze grote schaal zijn energiestromen, materiaalstromen en logistieke bewegingen verbonden met grote en complexe onderliggende infrastructuur, meerdere energiecentrales en verbinding met CCS-infrastructuur, aanlanding van wind en in de toekomst waterstof.

Bij de grote industrie, vaak geconcentreerd aan de kust in de havenclusters, wordt gekeken hoe die het beste kan integreren met de groeiende offshore wind energieproductie. In de windtenders wordt al steeds meer gekeken naar systeemintegratie – de inkoppeling van windparken in het systeem waar industrie een deel van uitmaakt en waar variaties in productie opgevangen worden door verschillende vormen van flexibiliteit in de industrie in de vorm van vraagsturing, conversie (power to heat, waterstof) en opslag (o.a. batterijen, warmte en waterstof). Er loopt een planningsproces voor ombouw in de industrieclusters onder de Cluster Energie Strategie - aanpak, een planningsafspraken tussen industrie, rijk en netbeheerders die hierin richting moet geven. Waar het veelal aan ontbreekt is goede uitwisseling van individuele plannen van verschillende bedrijven om in gezamenlijkheid tot een strategie en clusterplan te komen voor het deelsysteem.

Kennis- en innovatievragen

Innovatievragen:

- Hoe komen we tot een systeemontwerp op de schaal van industrieclusters, over lange tijdspaden waar veel urgentie bij gevoeld wordt, waar technologische innovatie snel gaat, maar transitie vaak trager verloopt, waar afhankelijkheden complex zijn en bedrijven verschillende opties hebben? hoe kan dit systeemontwerp vervolgens worden ingepast in de verschillende clusters? Dit werk staat in de kinderschoenen. Bedrijven maken hun eigen plannen en hebben vaak moeite koers te bepalen, omdat ze meerdere haalbare opties hebben. Die zijn wel afhankelijk van het aanbod aan hun poort van energie (e.g. elektriciteit, warmte, biomassa, waterstof) en CCS die sterk afhangt van beschikbare infrastructuur. De netbeheerders vragen echter de industrie om concrete plannen, via het CES proces. In gezamenlijkheid naar plannen kijken en samen verkennen wat de toekomstmogelijkheden zijn en welke het meest aantrekkelijk, en welke infrastructuur daarbij hoort en welk deel no-regret aangelegd kan worden – wordt maar in beperkte mate gedaan. Er is behoefte aan gezamenlijke strategische design, planning en ontwikkeltools die enerzijds vertrouwelijkheid kunnen borgen en anderzijds gezamenlijke besluitvorming faciliteren. En die rekening houden met nieuwe technologische innovaties die een belangrijke rol kunnen spelen – denk bijvoorbeeld aan het verschil tussen een grote elektrisch gedreven waterstoffabriek aan de kust tegenover een windpark vol waterstofmolens. De koppeling tussen energie opwek – conversie en gebruik van het product (waterstof, zuurstof en warmte) is in deze twee scenario's compleet verschillend.
- Welke flexibele aanbod en vraagprofielen zich gaan ontwikkelen op termijn is nog heel onduidelijk. De rol van conversie en opslag op clusterniveau is nog onzeker. Kunnen bijvoorbeeld energieopslag of combinaties van verschillende technologieën slim worden gedeeld tussen bedrijven binnen het cluster? Of zal dit efficiënter en tegen lagere (maatschappelijk) kosten kunnen op grootschalig niveau in Nederland of internationaal? De rol van grootschalige opslagstechnologie in het systeem moet zich nog ontwikkelen. De eerste zoutcaverne voor waterstof wordt nu ontwikkeld. Hoe deze bij opschaling van waterstofproductie en van de backbone een stabiliserende werking op het energiesysteem gaat hebben is nog onbekend. Daarmee is het ook onduidelijk in welke mate variabele groene stroom aan de poort komt van de clusters en kan worden ingepast. Een integrale systeemaanpak inclusief modellering en analyses die hier inzicht in geeft is noodzakelijk. Ook de koppeling van offshore wind ontwikkelprojecties aan transitiepaden van de industrie is hard nodig voor optimale synergie en voorkomen van uitdagingen met betrekking tot leveringszekerheid en prijsfluctuaties (te laag of te hoog). De rol van alle vormen van flexibiliteit, inclusief conversie en opslag van energie door de keten moeten daarin meegenomen worden om tot een merit-order van flexibiliteit te komen.

- Er is nog weinig inzicht in hoe marktmodellen zich gaan ontwikkelen. Er is veel gaande over de energiemarkt vanwege de gascrisis door de oorlog in Ukraine. Waardoor een roep om marktaanpassingen is ontstaan. Tegelijkertijd worden er instrumenten ontwikkeld om de waterstof markt los te trekken (EU Hydrogenbank, het Duitse H2Global en meer) die met contracts-for-difference ook een kickstart moeten geven aan waterstof productie, import en vraag. Omdat waterstof aan stroomproductie gekoppeld is wordt ook de vergelijking gemaakt dat het gedrag van waterstof en de onderliggende markt zich qua kenmerken zowel als elektriciteitsmarkt als gasmarkt gaat gedragen. Hoe de markt voor verschillende energiedragers zich gaat ontwikkelen is allesbepalend voor rentabiliteit van flex aanpassingen. Hoe komen we tot meer begrip van marktontwikkeling, invloed van beleidskeuzes daarop, zodat er meer zicht ontstaat op de lange-termijn mogelijkheden van marktforming en marktsturing?

3.4.3 Sectorale strategie met sectorspecifieke kansen en herhaalbare oplossingen voor industriële transformatie

Naast de zware industrie die veelal zeer specifieke oplossingen zoekt die op maat ontworpen en gebouwd worden, zijn er ook segmenten aan te wijzen waar procescondities vergelijkbaar zijn en replicatiekansen liggen. Dit hangt veelal samen met de temperatuur waarop processen bedreven worden:

- (zeer) hoge temperatuur, gasgedreven ovens voor bijvoorbeeld glas, steenbakkerijen, keramiek, metaalbewerking
- Middelhoge temperatuur – 200-600 °C – kleinere chemie, metaalverwerking, kunststoffen verwerking, en toekomstige processen voor vergassing en pyrolyse
- Lagere temperatuur – 80-200 °C – veelal watergebaseerde processen in de voedingsindustrie, biochemie, papierindustrie, destillatie-, droog-, en scheidingsprocessen. De warmte wordt hierbij vaak door stoomsystemen geleverd en kan zowel in continu- als in batchprocessen nodig zijn.

Binnen deze klassen van processen zijn archetype processen identificeerbaar die veelvuldig langskomen. Bijvoorbeeld batch reactoren en processen, sproeidroogtoeren, of droogprocessen voor papier. Door de grote replicatiepotentie is er voor bijvoorbeeld warmtepompen, damprecompressie, membraanscheidingen en elektrisch gedreven processen een behoorlijke markt. Introductie vraagt wel om aanpassingen in de proces layout en in de interne warmtesystemen door bijvoorbeeld de temperatuur te verlagen van een stoomsysteem naar een warmwater systeem. Daarnaast zal een verzwaren van elektrische installatie en aansluiting nodig zijn als er geëlektrificeerd wordt.

De grote uitdaging daarbij is dat deze zesde-cluster bedrijven vaak stand-alone zijn of beperkt verbonden met enkele

bedrijven op een terrein, waarbij de proces fabriek vaak de grootste energiegebruiker is. In deze situatie is de locatie bepalend voor de transitiemogelijkheden, zoals eerder beschreven. Infrastructuur verbindt lokaal aanbod energie met de fabriek, maar ook met andere partijen. Door de grote groei van zonneparken en wind op land is er veel vraag naar aansluitcapaciteit en is er op veel plaatsen netcongestie afgekondigd waardoor de elektrificatie van industrie in deze fabrieken erg afhankelijk wordt van wat er lokaal op het net nog kan en wat dat met zich meebrengt aan eisen ten aanzien van flexibiliteit.

Hierdoor is het belangrijk bij de omslag naar geëlektrificeerde processen rekening te houden met de (lokale) energie aanbieders (zon en wind) en met de lokale net aanbieder om de flex verwachting goed in kaart te brengen, en daar rekening mee te houden bij het ontwerp van het elektrisch systeem en de opslagmogelijkheden in de processen die in lijn zijn met de mogelijkheden van het kernproces.

Voor bedrijven die binnen een zekere straal van collega-bedrijven zitten kan er kans zijn om samen te werken, of kan er een risico zijn dat je elkaar in de weg zit. Dit kan leiden tot overvraag, netcongestie en hindering van een optimale transitie voor de grotere groep. Wanneer bijvoorbeeld meerdere bedrijven met grote vermogens flexibel willen opereren maar er na installatie van 1 of 2 e-boilers geen netwerk capaciteit meer is voor de rest is dit onwenselijk, zeker wanneer meer partijen bediend zouden kunnen worden als ze allen voor warmtepompen hadden gekozen. Daarbij is dan de uitdaging dat warmtepompen weer meer baseload ingezet worden, waardoor integratie met flexibel aanbod moeilijker is en wellicht opslag een optie biedt.

Hiervoor zou dan weer bij het zonnepark bijvoorbeeld een grotere batterij geplaatst kunnen worden om pieken op te vangen en te spreiden. Er ontstaan initiatieven van zogenaamde energy-hubs waarin deze problematiek in gezamenlijkheid aangepakt wordt. Deze praktijk is in ontwikkeling en kan helpen om een goede of optimale balans in publieke (infrastructuur) en private (e-warmte, batterij, etc.) kosten te realiseren.

Kennis- en innovatievragen

Kennis en innovatievragen die hierbij een rol spelen:

- Welke combinaties van processen en randapparatuur die elektrificatie ondersteunen bieden een groot replicatiepotentieel in industriële sectoren? Welke mate van flexibiliteit is bij deze processen realiseerbaar? En welke leveringszekerheid is er nodig om het proces ook bij stroomuitval of beperkte netaansluiting in een veilige situatie te brengen?
- Hoe kom je van standaardmatches naar inpassing op locatie? En hoe bereik je daarbij kostendaling (economies of numbers)? Hoe maak je ontwerp en inpassing van een aangepast systeem in de omgeving standaard of modulair en

optimaal gebruik van beschikbaar personeel voor installatie en operatie?

- Hoe ga je bij regionale inpassing van geëlektrificeerde processen tot optimale afstemming tussen aanbieders en gebruikers van groene stroom komen, en hoe verdeel je kosten en baten – tussen opwekkers, opslag, transporteurs en gebruikers?
- Hoe verspreid je de kennis van aanbod van technologische opties en hun prestaties breder in de sectoren zodat die ook opgenomen en herhaald kunnen worden?

3.4.4 Nationale en internationale systeem optimalisatie en impact op economie, maatschappij en milieu

Kijk je op de schaal van Nederland met zijn directe aanpalende gebied op de Noordzee dan zien we de volgende ontwikkelingen:

- Op de Noordzee hebben we alleen al in het Nederlandse deel ambities voor de ontwikkeling van windparken die tot 70 GW aan groene stroom op gaan wekken richting 2050.
- In de industrieclusters maken we een omslag, eerst om grootschalige CO₂-emissiereductie te realiseren met CCS, vervolgens om verdergaande reductie met groene waterstof en elektrificatie tot stand te brengen en als derde stap om grootschalige koolstofketens en andere circulaire ketens tot stand te brengen.
- In het achterland, in Duitsland, zullen vergelijkbare stappen worden gezet en zal er ook een grote behoefte aan energie en CO₂ opslag zijn.
- Onze nationale energiebalans zal slechts ten dele ingevuld kunnen worden door onze eigen opwek. Een mix van elektriciteit en waterstof zal aan land komen en geïmporteerd worden en in een basisbehoefte voorzien.
- Het gat tussen eigen productie, eigen behoefte en de doorvoervraag wordt ingevuld met importen. Een deel zal door internationale interconnectie aangevuld worden uit omliggende landen en gebieden zoals de UK of Noorwegen – zowel in stroom als in vorm van waterstof via pijpleidingen. Daarnaast zal zich ook import via scheepvaart ontwikkelen en dat is volop in voorbereiding. Deze zal in eerste aanleg in de vorm van ammoniak plaats vinden, aangevuld met andere vormen zoals LOHC's, Methanol en vloeibare of gasvormige waterstof, en op termijn eventueel e-fuels zoals Fischer-Tropsch geproduceerde nafta en kerosine, en andere halfproducten als Hot Briquetted Iron.
- Ontvanginfrastructuur zal ontwikkeld worden voor overslag en opslag van deze producten en voor een deel zal de ammoniak terug gekraakt worden tot waterstof om de backbone te voeden.
- Bunkering van scheepvaart met o.a. ammoniak, methanol en DME zal zich ontwikkelen
- De vraag naar zware stookolie neemt af, de vraag naar fossiele automotive brandstoffen neemt af, (CO₂-neutrale)

kerosine zal nog lange tijd nodig zijn. Dit gaat zijn weerslag hebben op de raffinagesector.

- De staalsector zal waterstof gebruiken uit eigen productie, uit de backbone, en uit importen van overzee.

De verknoping van al deze stromen en de inzet van deze stromen uit verschillende bronnen maakt dat de optimale grootschalige infrastructuurontwikkeling een grote uitdaging vormt, zowel op land als op zee. Op het nationale niveau ontwikkelen zich centra van aanbod en vraag – van groene stroom (HVDC en AC), van waterstof, en van geconcentreerde CO₂. Deze zitten veelal in de industrieclusters, en op de Noordzee. Deze centra worden door infrastructuur onderling verbonden waardoor uitwisseling tussen centra tot stand komt en er markt vorming plaats kan vinden. De nationale waterstof backbone is hiervan het bekendste voorbeeld, maar ook de ontwikkeling van hoogspanningsinfrastructuur, van gasinfrastructuur voor CO₂ en doorvoer van waterstof naar het achterland via de Delta corridor zijn bekende voorbeelden. En ook bijvoorbeeld leidingen voor doorvoer van ammoniak van de kust naar het achterland zijn voorbeelden van grootschalige infrastructuur die de verschillende centra verbinden. Energiehubs op de Noordzee kunnen een belangrijke rol spelen bij de ontsluiting en bij de buffering tussen opwek en gebruik. Interconnectie tussen landen rond de Noordzee zal ook een belangrijke rol spelen bij stabilisering van variabel vermogen en het verlagen van de nationale en internationale systeemkosten.

Kennis- en innovatievragen

Belangrijke onderzoeks- en innovatievragen hierbij:

- Hoe gaat de groene stroom aan land komen en verdeeld worden over de industrieclusters in balans met andere maatschappelijke toepassingen? Design van elektrische systemen en transformatiestappen, en afwegingen tussen transport van elektronen of moleculen moeten systematisch uitgewerkt worden op het grote energiesysteem niveau om tot een goede mix van energievormen en bijpassende infrastructuur en opslag te komen.
- De rol van import als aanvulling op de eigen productie is groot en belangrijk. Hoe gaat deze zich ontwikkelen over tijd, welke afhankelijkheden brengt dit met zich mee, welke marktpositie kunnen we als West-Europa innemen in een geglobaliseerde energiemarkt? Wel geopolitieke ontwikkelingen kunnen hier sterke invloed op uit gaan oefenen en hoe mitigeren we de risico's? Welke impact heeft dit op de infrastructuur en connecties tussen de onshore en offshore clusters?
- Traditioneel heeft de Groningse gasvoorraad een bufferende rol gespeeld in de energiehandel waardoor energieprijzen in Nederland laag konden blijven. Hoe gaat de Noordzee opwek en eigen grootschalige opslag daar voor West-Europa en Nederland een rol in spelen? En hoe gaat dit hand-in-hand zich ontwikkelen met de nationale industriële activiteiten?

- De variabiliteit van offshore wind en grootschalige zonne-energie moet opgevangen in het energiesysteem, bij productie, bij gebruik, door verschillende opslagvormen en door demand-response. Waar komen de grootste bufferrollen te liggen in het nieuwe systeem en hoeveel variabiliteit zal de industrie uiteindelijk aan de poort gaan ervaren en tegen welke prijs? Welke technologieën dienen zich hiervoor aan en hoe gaan die op schaal komen?
- Grootschalige infrastructuur heeft ook een groot ruimtebeslag. In een land waar alles vol zit en ruimte ook veelvuldig benut wordt is ruimtelijke inpassing heel belangrijk en vaak ook bepalend. Bijvoorbeeld – gas infrastructuur heeft een kleiner bovengronds ruimtebeslag dan elektrische infrastructuur waardoor waterstoftransport in gasleidingen een kleinere footprint en andere mogelijkheden biedt dan elektrische doorvoer, ondanks de conversieverliezen. Hoe heeft ruimtelijke inpassing invloed op efficiency en werking van het toekomstige energiesysteem? En daarmee op de verdeling van kosten en baten tussen verschillende stakeholders?
- Hoe ontwikkelt de maatschappelijke beeldvorming en draagvlak bij verschillende decarbonisatie scenario's richting een groene industriesector en wat zijn de grootste risico's daarbij?
- Wat is de impact op balansen voor kritieke grondstoffen, materialen en carbon footprint wereldwijd van grootschalige verandering in onze Nederlandse energiehoofdinfrastructuur?
- Hoe is deze grootschalige omschakeling in het energiesysteem en de aanleg en ombouw van de benodigde infrastructuur haalbaar met de al onder druk staande capaciteit aan arbeidskrachten en krapte in de aanleverketens?

3.5 Deelprogramma 3 – Transport en opslag CO₂ (CCS)

Dit deelprogramma bestaat uit de volgende subthema's:

- a. Rol en perspectief van CCS naar 2050
- b. Maatschappelijke acceptatie en politieke steun voor CCS
- c. Grootschalige, open transport- en opslaginfrastructuur
- d. Negatieve emissies en alternatieve vormen van permanente opslag
- e. Ondersteunend beleid

3.5.1 Rol en perspectief van CCS naar 2050

CO₂ afvang en opslag is een essentiële technologie voor het halen van de klimaatdoelen. CCS dient op een zo kort mogelijke termijn ingezet worden, om de emissies af te vangen uit industriële processen die niet op korte termijn kunnen worden aangepast of vervangen door klimaat neutrale processen. CCS kan tijd kopen, waarin nieuwe klimaat neutrale technologie voor een waaier aan processen in alle sectoren van industrie en energie kan worden ontwikkeld en geïmplementeerd. Dat maakt het mogelijk om huidige economische activiteiten en banen te continueren.

De rol voor CCS in de komende decennia kan als volgt worden gezien:

- Korte termijn (tot 2030): significante emissiereductie bij bestaande industriële installaties (zoals waterstoffabrieken bij raffinaderijen);
- Langere termijn (2030 – 2050): verdergaande emissiereductie bij bestaande industriële processen en opbouwen volume aan negatieve emissies, om het doel van 'net-zero' te halen;
- Lange termijn (na 2050): verschuiving van emissiereductie naar negatieve emissies ('carbon dioxide removal'), om het teveel aan uitstoot vóór 2050 uit de atmosfeer te verwijderen.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen die bij dit subthema horen:

- Hoe ziet het lange-termijn perspectief van CCS eruit? Wat is de rol van CCS in west Europa en hoe gaat deze een rol spelen bij het behalen van de doelen rond negatieve emissies? Een lange-termijn routekaart voor offshore CCS kan hier een goed handelingsperspectief geven. De balans in aanbod van CO₂, aanbod opslagcapaciteit, rol van biogene CO₂ ten opzichte van andere stromen, identificatie van barrières, opties, etc. kunnen dit beeld beter scherp krijgen.
- Welke vormen van lange-termijn opslag op land zijn er mogelijk? En wat is de haalbaarheid daarvan? CO₂ kan ook vastgelegd worden in materialen en producten, die voor lange-termijn fixatie en reductie kunnen zorgen (materialen, mineralisatie). Welke rol gaat dit op de lange termijn spelen bij het beheersen van de CO₂ concentratie in de atmosfeer?

3.5.2 Maatschappelijke acceptatie en politieke steun voor CCS

Afvang van CO₂ met industriële technieken en daaropvolgende opslag in de diepe ondergrond zal naar verwachting de dominante vorm van permanente opslag worden. Deze techniek is bewezen en wordt wereldwijd toegepast in een groot aantal projecten, waaronder een aantal op industriële schaal (enkele miljoenen tonnen CO₂ per jaar). Zowel voor emissiereductie (de afvang van CO₂ uit huidige industriële processen), als voor negatieve emissies (afvang van CO₂ uit processen gebaseerd op biomassa) zal CCS veruit de belangrijkste methode van permanente opslag vormen.

De capaciteit voor geologische opslag wordt algemeen als meer dan voldoende beschouwd, voor zowel emissiereductie als negatieve emissies, hoewel slechts een zeer klein deel van de geschatte opslagcapaciteit op korte termijn operationeel beschikbaar zal zijn. Uitgaande van een geleidelijke vermindering in de periode tot rond 2050 van de afvang van CO₂ uit fossiele bronnen, door toenemende verduurzaming van industriële en energie-gerelateerde processen, zal CCS na 2050 nog meer dan voldoende capaciteit kunnen bieden voor de opslag van negatieve emissies. Deze capaciteit is voorhanden in de Noordzee, zowel in de Nederlandse sector als in die van

buurlanden als Denemarken, Noorwegen, Verenigd Koninkrijk. Voor de internationale connecties zijn overeenkomsten nodig, zeker in het geval van het Verenigd Koninkrijk: wederzijds erkenning van het ETS in Europa en het VK is nodig voor de handel in emissierechten.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen:

- Welke lange-termijn risico's bestaan er voor de opslag van CO₂? Het is belangrijk om deze verder uit te werken door studies naar lange-termijn risico's van CO₂ opslag uit te voeren.
- Wat moet er gedaan worden om we in internationale relaties samen te werken aan verdergaande opslag en transport van CO₂? Onderzoek is nodig om hier grip op te krijgen en advies te geven aan bilaterale overeenkomsten met o.a. het VK over internationaal transport en opslag van CO₂.

3.5.3 Grootschalige, open transport- en opslaginfrastructuur

Op dit moment zijn er enkele vergevorderde plannen voor CO₂ opslagprojecten. Een aantal ontwikkelingen is nodig om deze onderdelen verder uit te bouwen tot een grootschalige CCS-infrastructuur op industriële schaal in Nederland (voor Nederland, en voor omliggende landen).

- De beschikbaarheid van een transport en opslaginfrastructuur voor elke emitter is essentieel. Zekerheid over afname van afgevangen CO₂ vormt het startpunt van afvang van CO₂.
- De opslag van CO₂ is wereldwijd afdoende bewezen, maar veiligheid en doelmatigheid ervan moet ook in Nederland worden aangetoond. De risico's bij opslag zijn gering, maar de eerste projecten zijn nodig voor publieke acceptatie van de techniek in Nederland.
- Transport zal naar verwachting voor het grootste deel via pijpleiding gebeuren. Transport per schip zal ook een belangrijke factor worden, zowel tussen havens (overslagterminals) als transport direct naar een offshore opslaglocatie. Deze laatste optie is nog niet gedemonstreerd, maar heeft de potentie om de beschikbaarheid van opslagcapaciteit te versnellen.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen:

- Op welke techno-economisch meest aantrekkelijke manier kunnen we de bestaande olie/gas infrastructuur inzetten voor opslag van CO₂? Studeerstudies naar deze keuzes kunnen hier beter zicht op geven. Dit vraagt om ondersteunende R&D op gebied van CO₂ transport en opslaginfrastructuur
- Kan CO₂ transport en opslag per schip over zee een belangrijke bijdrage leveren aan de lange-termijn offshore opslag van CO₂? Hiervoor is het belangrijk dat 'offshore offloading' van CO₂-schepen verder wordt ontwikkeld en gedemonstreerd.

- Hoe hou je de risico's in de gaten van lange-termijn offshore opslag? Hoe monitor je deze het beste? Het is belangrijk dat hiervoor op basis van best practices internationaal richtlijnen en standaarden worden ontwikkeld.

3.5.4 Negatieve emissies en alternatieve vormen van permanente opslag

Een veelbelovende bron van negatieve emissies is het afvangen van CO₂ van processen gebaseerd op biomassa. Studies laten zien dat de hoeveelheid biomassa wereldwijd, zowel reeds beschikbare biomassa als biomassa die gegenereerd kan worden door breder of efficiënter landgebruik, voldoende kan worden ontwikkeld. In Nederland kan die leiden tot grootschalig creëren en gebruik van biobrandstoffen, waarmee een groot aantal industriële processen kunnen worden aangepast, waarmee grote industriële clusters, zoals de havens van Rotterdam, Amsterdam en Eemshaven, kunnen worden vergroend en daarmee hun economische waarde gehandhaafd. Afvangen van CO₂ in deze nieuwe waardeketens leidt in principe tot negatieve emissies, hoewel altijd een nauwgezette analyse van een keten nodig is (*life cycle analysis*), om dubbeltelling te voorkomen en om de netto negatieve opbrengst vast te stellen.

Een andere techniek voor afvangen van CO₂ is direct air capture (DAC). Op dit moment is DAC nog vele malen duurder dan afvang van CO₂ bij of in de schoorsteen. Een recente studie (*RHDHV, Quickscan analyse, 2022*) concludeert dat DAC in 2050 een verwaarloosbare bijdrage aan negatieve emissies zal hebben, vanwege hoge kosten en de noodzaak van een overschot aan hernieuwbare energie.

Alternatieven voor geologische opslag zijn op dit moment nog onvoldoende ontwikkeld, zijn veel duurder, of leiden tot een grote vraag naar energie en landoppervlak. Deze alternatieven omvatten opslag in bouwmaterialen (kalksteen, cement), mineralisatie (zoals in fijn gemalen olivijn of basalt), aanplant van bos, of vastlegging in de bodem.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen:

- Welke rol kan biobased afvang en opslag van CO₂ spelen in Nederland in een ecologisch duurzame en verantwoorde manier? Kijk hiervoor goed naar:
- Aanbod CO₂ uit biobased processen, geografisch en tijdsbepaald.
- Impact van deze CO₂ stromen op de vraag naar transport en opslagcapaciteit.
- Op welke schaal en manier kan biomassa verwerkende industrie haar CO₂-emissies het beste opslaan? Verkenningen en ontwikkelplan aansluiting biobased industrie (en energie) op opslagnetwerk(en) is hiervoor nodig.

- Welke alternatieven voor lange-termijn opslag er ontwikkeld en wat is hun opschalingstraject? Haalbaarheidsstudies naar worden alternatieve vormen van opslag (mineralisatie, bouw materiaal, opslag in de bodem, etc.), hun ontwikkeltraject, de kosten, de haalbare volumes
- Hoe ziet de balans tussen (her)gebruik van CO₂ en opslag er op termijn uit? Wat is de impact van negatieve emissies en van alternatieve vormen van permanente opslag van CO₂ op de vraag naar transport van CO₂? Waar komt de CO₂ vandaan, waar moet de CO₂ naartoe (periode 2030 – 2050 en de periode na 2050)?

3.5.5 Ondersteunend beleid

De huidige ontwikkelingen laten zien dat in landen met beleid en subsidiemaatregelen, die de onzekerheden van de ETS prijs reduceren, CCS-projecten tot ontwikkeling komen. Een sterke ondersteuning vanuit de overheid blijkt een voorwaarde voor de ontwikkeling van transport- en opslagprojecten. De zekerheid van de beschikbaarheid van opslagcapaciteit is een vereiste voor het ontwikkelen van een transportnetwerk; zekerheid over de beschikbaarheid van afname (transport) van afgevangen CO₂ is essentieel voor het initiëren van de planning en bouw van afvanginstallaties. De ontwikkeling van opslagcapaciteit staat daarom aan het begin van de evolutie van CCS, maar kent een lange aanlooptijd en een hoog risicoprofiel. Opslagcapaciteit is voorlopig alleen offshore beschikbaar. Dit leidt mogelijk tot hogere kosten voor emitters ver van een haven of kust, of op enige afstand van een rivier of waterweg.

Ondersteunend beleid is nodig om een tijdige ontwikkeling van transport en opslagcapaciteit te verwezenlijken, om een *level playing field* te bereiken, en om de maatschappelijke kosten van CCS te beperken. Daarnaast dienen te CO₂ stromen te worden gemeten en geadministreerd, om te voldoen aan de eisen vanuit het ETS en de CCS Directive, en om internationaal transport en opslag van CO₂ mogelijk te maken.

Kennis- en innovatievragen

Onderzoeksvragen:

- Inventarisatie van vraag naar overkoepelend overzicht en toezicht op CO₂ transport en opslag.
- Advisering over beleidsmaatregelen die de ontwikkeling van transport en opslag van CO₂ bevorderen (*level playing field*, interactie met buurlanden, ondersteuning van ETS).
- Studie en advisering over verwachte evolutie van ETS prijspeil.

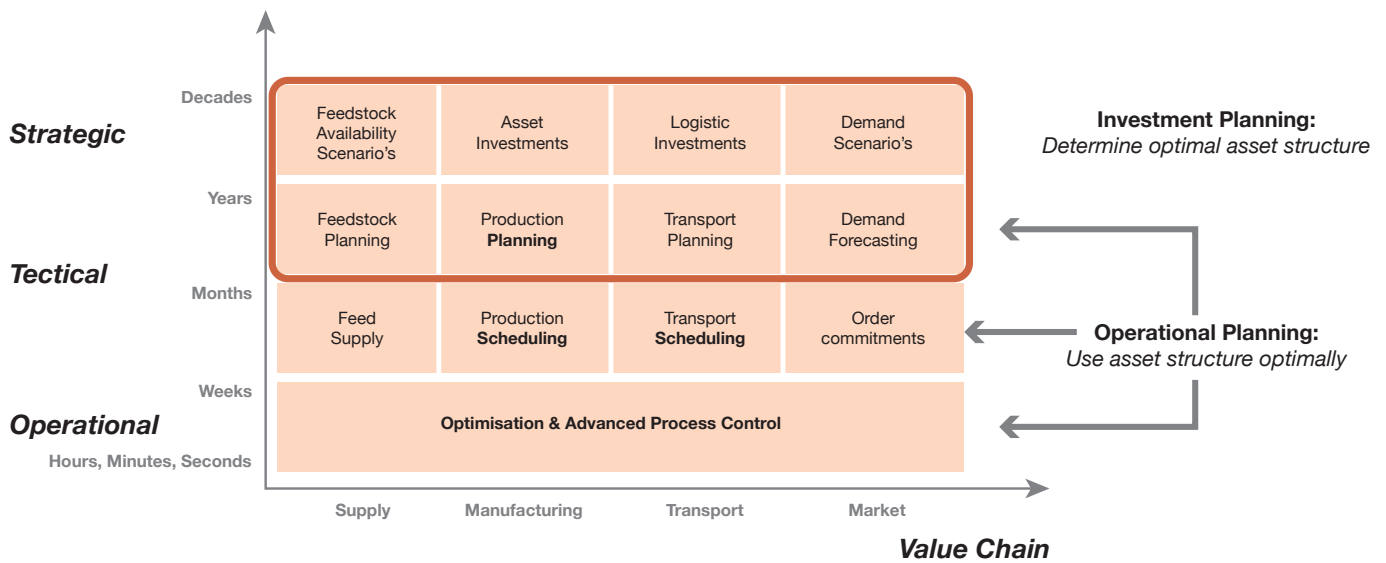
3.6 Deelprogramma 4 – Digitalisatie

Dit deelprogramma bestaat uit de volgende subthema's:

- a. Systeemanalyses en digital twins van grootschalige industrie-energiesysteem-grondstoffenketen systemen.
- b. Operationele processturing en site-optimalisatie in nieuwe hoog-volatiele energiemarkten.
- c. Footprint traceerbaarheid en certificering van grondstoffen en producten door de keten.

3.6 Systeemanalyses en digital twins van grootschalige industrie-energiesysteem-grondstoffenketen systemen.

De traditionele rol van de ingenieur is erop gericht om allerlei componenten, technieken of systemen bij elkaar te brengen en tot een werkend geheel te maken. De procestechnoloog heeft geleerd op deze manier een fabriek te ontwerpen die van grondstoffen producten maakt. In veel andere disciplines geldt deze ontwerprol ook als een belangrijke taak. De ingenieur integreert het systeem, en optimaliseert het naar gewenste prestaties, vaak naar productkwaliteit, maar ook efficiency, milieubelasting, en nog meer eisen. Het ontwerp levert een fabriek op die in een keten vaak tientallen jaren zijn rol vervult. Wanneer deze economisch aantrekkelijk is en aan de vele randvoorwaarden voldoet wordt de investeringsbeslissing genomen en de fabriek gerealiseerd.



Figuur 9: Overzicht van planningsniveaus waarop digitale tools ingezet worden voor de ontwikkeling, inrichting en operatie van de industrie. (Bron: Jan van Schijndel, VSSC)

Met de huidige transformatie zien we dat enerzijds de eisen aan de fabrieken veranderen, en anderzijds dat de levensvatbaarheid van grondstoffen en producten over tientallen jaren veel onzekerder gaat worden. Daarbij zullen zowel bestaande fabrieken omgebouwd moeten worden, als dat er nieuwe fabrieken bij gaan komen. Met de sterke koppeling die waterstof legt tussen stroom en waterstof ontstaat er ook een fundamentele verschuiving in de beschikbaarheid en ontwikkeling van grondstoffen.

Onder deze onzekerheden en veranderingen moeten strategische beslissingen genomen worden voor deze ombouw die robuust voor lange tijd moeten kunnen draaien. Deze beslissingen hangen systemisch aan elkaar en de zekerheid dat een investering gerealiseerd kan worden en rendabel opereert hangt steeds meer samen met externe factoren die een eigen tijdpad volgen. De offshore windproductie levert variabele groene stroom, we moeten steeds meer stroom gebruiken, dan hebben we ook de infrastructuur nodig en de grootschalige adaptieve gebruikers, om ook in pieken deze stroom zinnig in te zetten, of om met gebrek aan stroom om te kunnen gaan.

Modellen, digitale tools en technieken en digital twins van industrieclusters die de systeemsamenhang beschrijven helpen inzicht te geven in deze afhankelijkheden. De toetsing van het toekomstbeeld met deze tools geeft inzicht in de aantrekkelijkheid en haalbaarheid van alle investeringen bij elkaar. Slimme optimalisatietechnieken, verkenningsmethodes, rekenkracht om grote modellen efficiënt door te kunnen rekenen, helpen allemaal bij deze verkenningen. Het vereist wel veel expertise om deze modellen te bouwen. Verkenningen

met deze modellen is mogelijk iets laagdrempeliger. De inzet van deze modellen en instrumenten in samenwerkingen in clusters en op nog hoger niveau landelijk of internationaal, biedt veel potentie en is een belangrijk middel om gezamenlijk transitiepaden te verkennen, ontwikkelen en ontwerpen.

Kennis- en innovatievragen

Innovatie opgaven hierbij:

- Inzet van systeemanalyses en modellen bij de industrie transformatie is zeer belangrijk om opties af te wegen en keuzes in samenhang en in gezamenlijkheid te maken. Hoe kunnen deze tools zo effectief mogelijk ingezet worden? Hoe borgen we betrokkenheid, ownership en gebruik van deze middelen bij de grote set stakeholders, van grote corporates tot kleinere zelfstandige bedrijven?
- Platformontwikkeling bij transitie kan een belangrijke rol spelen in de geleide ontwikkeling van industrieclusters. Rond de Cluster Energie Strategieën wordt gewerkt aan dataverzameling en data-ontsluiting via zogenaamde DataSafeHouses. De inzet van deze verzamelpunten zal voorbij data ook naar analyse en project moeten gaan om verkenningen te ondersteunen, en data beschikbaarheid, kwaliteit, deelbaarheid en toegang moeten geborgd worden. Wederkerigheid – het gebruik van de systeemdata voor de toeleverende partij – zal ook geborgd moeten worden. Hoe gaan nieuwe digitale technieken, tools en modellen deze data helpen ontsluiten terwijl vertrouwelijkheid geborgd is, en helpen bij een breed palet aan besluiten over de vele stakeholders die het raakt?

- Strategische verkenningen en ontwikkelingen kunnen ook democratisering van besluiten ondersteunen door interactie met brede groep betrokkenen te faciliteren. Dit kan draagvlak en acceptatie vergroten en mensen een toekomstperspectief geven die tastbaar en concreet wordt. Maar het kan ook helpen dilemma's in besluiten met bredere groepen te bespreken en invoelbaar te maken. Hierdoor kan gaan van communicatie tot interactie tot betrokkenheid bij besluitvorming. Welke digitale technieken en innovaties gaan hier een steeds belangrijker rol in spelen?
- Lange termijnverkenningen zijn strategische oefeningen die speciale vaardigheden vragen. Bij toenemende ondersteuning met digitale middelen zal dit nog meer competenties vragen. Welke competenties hebben bedrijven nodig om hun eigen strategische verkenningen zorgvuldig uit te kunnen voeren? Welke vaardigheden, welke organisatiestructuur en welke.

3.6.2 Operationele processturing en site-optimalisatie in nieuwe hoog-volatiele energiemarkten

Beschikbaarheid van cloud-diensten, decentrale (edge) computing, data ontsluiting en ontwikkeling van digitale markten maakt dat de digitale transformatie steeds meer rol gaat spelen op tactische en operationele beslissingen:

- Tactische beslissingen – bij bestaande installaties wordt over een operationele cyclus – bijvoorbeeld door het jaar heen – gekeken hoe planningen lopen, hoe aanbod en vraag kunnen variëren en hoe daarbij de productiemiddelen zo goed mogelijk ingezet kunnen worden. Bij seizoensafhankelijkheid zijn er bijvoorbeeld voor gasopslag vulseizoenen en gebruiksseizoenen. Voor duurzame energie treedt dit ook op, met winters met weinig zon en donkere windarme periodes, en zonnige zomers. Overbruggen van seizoenen kan hierin een rol gaan spelen met bijvoorbeeld waterstof opslag in cavernes.
- Naast verbinding met de operatie is ook de onderhoudsstrategie een voorbeeld van tactisch besluit. State-based maintenance en monitoring gaan hierin een steeds groter rol spelen. In de industrie is de Asset Twin voor het ontwerp en monitoring van assets de meest voor de hand liggende toepassing. De Asset Twin wordt ingezet om het onderhoud te verbeteren door periodiek of draaitijd-gebaseerd onderhoud (na x aantal draaiuren) te verfijnen met voorspellende modellen op basis van de werkelijke status van de asset en het risico van uitval (Asset Health, Asset Risk). Dit kan uitgebouwd worden tot Asset Performance Management, waarbij niet enkel op de asset en haar status wordt geoptimaliseerd, maar op het systeem waarbij ook de rol van de asset en criticaliteit worden meegenomen in probabilistische (AI) modellen.

- Operationele beslissingen – in de operatie kan er door procescontrole gestuurd worden op bepaalde setpunten in de fabriek – bijvoorbeeld procestemperaturen, warmte gebruik etc. Deze beslissingen kunnen nog geoptimaliseerd worden met bredere fabrieksoptimalisaties wanneer er een complex samenspel is tussen de samenstelling van voedingsstromen, de verdeling over producten en de vraag in de markt. Site-wide optimalisaties worden daarvoor gebruikt in de petrochemische industrie. Bij verdergaande elektrificatie gaat dit zich ook richten op optimale inzet van groene stroom en demand-response die de procesinstellingen kan gaan aansturen. Direct koppelingen met de energiemarkt kunnen hier een belangrijke rol in gaan spelen.

Kennis- en innovatievragen

Innovatieonderwerpen waarbij digitale technologie een grote rol speelt:

- Rol van planning en handel in nieuwe energie en grondstofmarkten.
- Afstemming van volume en tijd van vraag en aanbod,
- Optimalisatie van de belasting en het gebruik van de infrastructuur,
- Reactie op Dynamische prijssignalen,
- Beheer van operationele flexibiliteit,
- Optimalisatie van proces - en systeemefficiëntie.
- De rol in onderhoud en beschikbaarheid van installaties

3.6.3. Footprint traceerbaarheid en certificering van grondstoffen en producten door de keten

De certificering van groene producten zal een cruciale rol spelen in de succesvolle ontwikkeling van een klimaat-neutrale industrie. Er zijn veel aspecten in ontwikkeling op dit vlak:

- Regelgeving rond de voorwaarden wanneer iets echt groen is, is volop in ontwikkeling.
- De traceerbaarheid van een groene grondstof of product door de keten
- De afhandeling van transacties, de handel, van groene producten en borging dat het verhandelde aan de kwaliteitseisen voldoet.

Kennis- en innovatievragen

Voor veel van deze aspecten zijn er grote verwachtingen van digitale markten, ledger-based certificeringssystemen. Het is nog een grote vraag hoe deze systemen sluitend te maken. De Europese Unie heeft hier aandacht voor en beleid in ontwikkeling om brede digitale diensten in Europa uit te zetten. In Europa wordt dit door de digital services act weergegeven, zie figuur 9.

Er wordt gestreefd naar een krachtige Europese strategie die door harmonisatie en regelgeving een basis moet bieden voor verdergaande ontwikkeling van een Europese digitale industrie en economie. De basisprincipes zullen ook van toepassing zijn op de marktforming van groene commodities.

The new rules are proportionate, foster innovation, growth and competitiveness, and facilitate the scaling up of smaller platforms, SMEs and start-ups. The responsibilities of users, platforms, and public authorities are rebalanced according to European values, placing citizens at the centre. The rules

- Better protect consumers and their fundamental rights online
- Establish a powerful transparency and a clear accountability framework for online platforms
- Foster innovation, growth and competitiveness within the single market

For citizens



- Better protection of fundamental rights
- More choice, lower prices
- Less exposure to illegal content

For providers of digital services



- Legal certainty, harmonisation of rules
- Easier to start-up and scale-up in Europe

For business users of digital services



- More choice, lower prices
- Access to EU-wide markets through platforms
- Level-playing field against providers of illegal content

For society at large



- Greater democratic control and oversight over systemic platforms
- Mitigation of systemic risks, such as manipulation or disinformation

Figuur 10: Europese doelstellingen van de Digital Services Act.

Er wordt gestreefd naar een krachtige Europese strategie die door harmonisatie en regelgeving een basis moet bieden voor verdergaande ontwikkeling van een Europese digitale industrie en economie. De basisprincipes zullen ook van toepassing zijn op de marktforming van groene commodities.

4. Lopende Nederlandse innovatie-activiteiten

4.1 Inleiding

Voor de ontwikkeling van nieuwe ketens, ombouw van bestaande ketens en afstemming op systeemintegratie vinden veel regionale en nationale ontwikkelingen plaats. In de regio's worden in de praktijk nieuwe ketens verkend en opgebouwd. Daarnaast wordt er ook veel nieuwe kennis ontwikkeld over de ketens van de toekomst.

Tegelijk wordt er veel werk gedaan voor beleidsondersteuning en ontwikkeling van infrastructuur. Dit wordt ondersteund met data en modellen, analyses (opdrachten) en verkenningen. Voor hun transitieopgave maken bedrijven hun eigen plannen en stemmen die af met de overheid (o.a. via de maatwerk afspraken) en met netbeheerders (via het cluster of aanvragen van netaansluitingen).

In deze processen verloopt communicatie en besluitvorming vaak moeizaam. Bedrijven hebben meerdere opties en door onzekerheid van beschikbare infrastructuur of marktontwikkelingen houden ze die open totdat er meer zekerheid is. De ontwikkeling van bedrijven gezamenlijk hangt samen met de rol van toekomstige industrie in Nederland. Visieontwikkeling voor groene industrie verloopt langzaam en bevat voor het tijdpad 2030-2050 nog heel veel onzekerheden. De techno-economische haalbaarheid hangt af van technologieontwikkelingen, opbouw van offshore wind, infrastructuur en import. Deze zijn allemaal nog voor een groot deel onbekend.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de activiteiten die uitgevoerd worden in het veld om hier meer zicht op te krijgen, in clusters, bij infrastructuurontwikkeling, bij netbeheerders, bij de kennispartijen en bij adviseurs die de verschillende partijen actief ondersteunen.

4.2 Coördinatie in industrieclusters

Er wordt in de industrie veel verkennend werk verricht om de ombouw van de industrie mogelijk te maken. De eerste grootschalige projecten voor bijvoorbeeld waterstofproductie worden geïntroduceerd, elektrificatie en flexibiliteit wordt langzamerhand ontwikkeld en grote projecten en programma's op bedrijfsniveau worden aangekondigd en uitgewerkt. Deze ontwikkeling gaat hand-in-hand met de ontwikkeling van de Cluster Energie Strategieën (CES-en) die aangeven welke infrastructuur nodig is om de ombouw te realiseren. Daarnaast worden activiteiten ontwikkeld voor kennisopbouw en ondersteuning van nieuwe bedrijvigheid. Per industriecluster worden er grootschalige projecten ontwikkeld en is er vaak ook een innovatief ecosysteem aanwezig dat verkenningen voor nieuwe technologie, nieuwe ketenvorming die past bij

het cluster, en nieuwe ecosystemen ontwikkeld. Een aantal voorbeelden van lopende activiteiten per cluster:

4.2.1 Cluster Zeeland (North Sea Port/ Zeeland/Terneuzen - Smart Delta Resources):

Het industriële cluster Zeeland heeft zware industrie en agro-food bedrijven en reikt over de grens naar België. Bij Smart Delta Resources (SDR) hebben energie- en grondstof-intensieve bedrijven in de Vlaams-Nederlandse Schelde-Deltaregio een samenwerking van industrie, haven, kennisinstellingen en overheden opgezet. SDR-regio heeft de grootste industriële waterstofcluster van de Benelux (580kton per jaar), de (grijze) waterstof wordt voornamelijk gebruikt als grondstof en voor de hoge-temperatuur industrie. Juist voor deze regio is het uiteindelijk overstappen naar groene waterstof van essentieel belang voor het terugdringen van de CO₂ uitstoot. Onder coördinatie van SDR worden activiteiten in een aantal programma's ontwikkeld die de transitieopgave uitwerken:

- Hydrogen Delta – ontwikkeling van de regionale waterstof economie. De eerste stappen naar introductie van groene waterstof loopt via een aantal projecten, die de komende jaren operationeel moeten worden en daarna opschalen. Voorbeelden zijn ELYgator (200MW), H2ero (150 MW), Haddock (110MW), SeaH2land (500 MW met opschaling naar 1GW).
- Spark Delta – Met de plannen voor grootschalige elektrificatie wordt er gekeken naar de beschikbaarheid van voldoende groene elektriciteit en een robuust elektriciteitsnet met o.a. uitbreiding van het 380kV net en aanlanding van Wind op Zee.
- Circular Delta – Voor ontwikkeling van circulariteit van koolstof, plastics en andere stromen, onder andere door uitwisseling tussen de lokale industrie, en voor hergebruik van warmte en inzet van duurzame elektriciteit.
- Carbon Connect Delta - in 2030 moet er tot 6 Mton CO₂ worden afgevangen en opgeslagen voor CCS in de SDR-regio. Door middel van Aramis en een grens overstijgende CCS-infrastructuur moet er 3,3 Mton CO₂ per jaar gereduceerd worden. CCS is cruciaal binnen het transitie pad waterstof in de regio.
- Biopark Terneuzen - Verzorgt synergie tussen bedrijven die zich bevinden in dezelfde geografische locatie en helpt bij de uitwisseling van elkaars bijproducten en afvalstromen

4.2.2 Cluster Rotterdam-Moerdijk (Deltalinqs, Havenbedrijf Rotterdam)

De Energietransitie visie van het Havenbedrijf Rotterdam richt zich op 4 pijlers; efficiëntie en infrastructuur, een nieuw energiesysteem, een nieuw grond- en brandstoffsysteem, en duurzaam transport. Naast eigen productie gaat ook import in Rotterdam een belangrijke rol spelen. De al bestaande 'short-sea' lijnen, de directe connectie naar open zee, de connectie naar het inlandse water en het spoornetwerk maken het een aantrekkelijke plaats voor transport. Ook het systeem van pijpleidingen voor chemische materialen en producten is een goedkoper en veiliger alternatief dan wegtransport. In het Haven Industrieel Cluster in Rotterdam loopt een groot aantal verduurzamingsprojecten in de industrie. Een aantal belangrijke voorbeelden zijn de volgende:

- Voor opschaling van waterstof ontwikkelt het Havenbedrijf het Waterstof Conversiepark op de Tweede Maasvlakte. Hier hebben onder andere HyCC en BP, Shell en plannen in ontwikkeling om een waterstof elektrolyse fabriek te bouwen. Shell heeft met zijn Holland Hydrogen 1 de eerste FID op een grootschalige waterstof fabriek van 200 MW genomen en de verwachting is dat de volgende fabrieken snel gaan volgen.
- Horisont Energi en het havenbedrijf Rotterdam hebben een overeenkomst voor de ontwikkeling van een transportcorridor voor blauwe ammoniak van Noorwegen naar Rotterdam.
- Koole terminals, Chiyoda Corporation en Mitsubishi Corporation gaan een haalbaarheidsstudie uitvoeren naar de commerciële import van waterstof via een terminal van Koole in de Rotterdamse haven, waarbij gebruik gemaakt wordt van LOHC's (Liquid-Organic Hydrogen Carriers) met de SPERA-technologie voor transport. Daarnaast is ook Vopak bezig met de ontwikkeling van een LOHC-import route vanuit zuid Europa.
- Het Fieldlab Industrial Electrification (FLIE) is een initiatief om de energietransitie op een praktische wijze te ondersteunen. Het vormt een actief ecosysteem voor industriële transitie met een centrale rol voor elektrificatie. Het FLIE startte in februari 2021 met het solution center om advies te geven over financiering, regelgeving en de begeleiding van haalbaarheidsstudies. Hier kunnen studies naar de elektrificatie en daar bijbehorende verduurzaming plaatsvinden voor specifieke industriële processen.
- De afgelopen jaren is met de instelling van het PIDI – het Programma Infrastructuur Duurzame Industrie van het ministerie van EZK – het Rotterdamse Data Safe House ingericht. Deze heeft de rol alle data van bedrijven te verzamelen en te ontsluiten voor de planning van de netbeheerders in de Rotterdamse regio. Op dit moment is een tiental bedrijven aangesloten die de data voor transitieprojecten aanleveren. Het ecosysteem is volop in ontwikkeling en verwacht een verdubbeling van het aantal leden in het komende jaar.

Andere belangrijke lopende projecten voor verduurzaming en interconnectie met lang-afstand infrastructuur zijn: Porthos, Delta Corridor, HyTransPort-leiding en WarmtelinQ.

4.2.3 Het Cluster Noordzeekanaal Gebied (NZKG)

De Amsterdamse haven is één van de grootste benzinehavens ter wereld koploper in de overslag en transport van fossiele brandstoffen. Een groot onderdeel van de verduurzaming van het NZKG zal afhangen van de transitie naar duurzame brandstoffen zoals waterstof en hernieuwbare koolstof. In de regio rond Amsterdam wordt een grote groei naar de vraag van waterstof verwacht. Deze zal zowel ingezet worden voor de transitie van Tatasteel, een grote groep bedrijven in de regio en de verduurzaming van de scheep- en luchtvaart. De vraag in het NZKG loopt in 2030 al op tot 250 à 300 kiloton, en in 2050 wordt dit zo'n 550 kiloton. Voor de benodigde waterstof wordt ingezet op drie bronnen: elektrolyse op het land, aanlevering van groene waterstof via het waterstofnetwerk en de import van groene waterstof. Dit maakt aanlanding van wind op zee cruciaal voor het NZKG.

Een aantal belangrijke voorbeelden zijn de volgende:

- Er wordt gewerkt aan de aanlanding van wind op zee van 2.1 GW, maar hiernaast is additionele capaciteit wenselijk. Verder zal IJmuiden met Amsterdam verbonden worden door het waterstofnetwerk NZKG en een aansluiting op het landelijke waterstofnetwerk.
- Het waterstofnetwerk NZKG zal met het lokale lagedruk waterstof-infrastructuur van Port of Amsterdam en Zaanstad verbonden worden in een regionaal project.
- Project Heraclous – Staalproductie door middel van DRI (directly-reduced iron). Tata Steel krijgt een directe aansluiting op het net van TenneT voor de aanlevering van offshore-windenergie voor de eigen processen en voor de productie van waterstof. Daarnaast zet het in op een aansluiting op de gasunie waterstof backbone en op import om leveringszekerheid en betaalbaarheid van groene waterstof te borgen.
- H2ermes – 100MW waterstoffabriek in IJmuiden; een flagship project van Hydrogen Hub Amsterdam.
- H2Era – 500 MW waterstoffabriek in de Amsterdamse haven.
- BioPark – Gelegen in de Amsterdamse haven in de buurt van energieleveranciers en afvalverwerkers moet BioPark het centrum worden voor de productie van duurzame brandstoffen.
- ZEREMIS - Met Zeremis carbon lite kunnen afnemers hun eigen CO₂ voetafdruk verminderen. De CO₂-reductie is gebaseerd op veranderingen die Tata steel sinds 2018 heeft doorgevoerd in hun productieproces en zal in de komende jaren (tot de implementatie van Directly Reduced Iron (DRI) in 2030) nog verder afnemen door de verduurzaming van het productieproces.

4.2.4 Industriecluster Noord-Nederland (Groningen-Emmen)

Ook in het industriecluster Noord-Nederland is een groot aantal bedrijven actief met de ontwikkeling van nieuwe bedrijvigheid. Een van de focuspunten van industriecluster Noord-Nederland is het gebruiken van het overschot aan agro-biomassa afvalstromen voor de productie van organische chemische bouwblokken. In de regio worden onder andere veel aardappelen en bieten verbouwd.

- Rond waterstof zijn de projecten van HyCC en SkyNRG bekend, is het North₂ consortium actief met onder andere Shell, RWE, Equinor, Eneco en Groningen Seaports. Daarnaast hebben onder andere Engie en RWE eigen elektrolyse projecten aangekondigd en is industriegebied Delfzijl bezig met de ontwikkeling van waterstof infrastructuur en met een piloting en demonstratie testomgeving.
- Naast elektrificatie en waterstof ontwikkelingen wordt er binnen het samenwerkingsverband van Chemport Europe ook gekeken naar nieuwe chemische conversieroutes: bijvoorbeeld voor alcoholen en organische zuren. Met deze bouwblokken kunnen er door polycondensatie polymeren geproduceerd worden. Er zijn voorbeeld-waardeketen bedacht voor de productie van chemicaliën in de regio naar aanleiding van de vraag: Wat kan er in de regio op basis van suikers? Biomassa kan ook worden gebruikt voor energieopwekking (verbranding) of door de productie van biogas door fermentatie.
- Daarnaast wordt er door de Dutch Glycerine Biorefinery in Delfzijl gekeken naar opwaardering van Glycerine. Glycerine kan worden geproduceerd uit plantaardige oliën, maar is ook een bijproduct van biodiesel van kookvet. Recentelijk is de kwaliteit van glycerol uit afvalstromen sterk gestegen, mede door de Dutch Glycerine Biorefinery in Delfzijl. Bij het nieuwe proces wordt hoogwaardige glycerine geproduceerd door middel van het verwijderen van vetzuren en zouten.
- Via de EemsEnergyTerminal (dochterbedrijf Gasunie), nu nog gebruikt als LNG-terminal, kan er in de toekomst groene waterstof worden geïmporteerd. Ook zal er in de toekomst gebruik kunnen worden gemaakt van biogas, dat wordt nu al op kleine schaal geproduceerd (van biomassa) door Cosun Beet Company in Groningen.
- Avantium bouwt in Delfzijl aan een fabriek voor de productie van 2,5-dicarbonzuur (FDCA). Deze organische zuren kunnen gebruikt worden als bouwblok voor PEF (wat in Emmen gemaakt wordt), een alternatief voor PET. MEG (monoethyleen glycol) is een ander bouwblok voor PEF en PET wat ook door een pilot plant van Avantium geproduceerd zal worden.

4.2.5 Chemelot

Bij de verduurzaming van Chemelot ligt de focus op elektriciteit, waterstof, methaan/biogassen, restwarmte en CO₂ transport. De elektriciteitsbehoefte van Chemelot zal groeien van 250 MW naar 700 MW in 2050. De elektriciteitsbehoefte van Limburgs Energie Akkoord (LEA)-bedrijven zal groeien van 106 MW tot 550/600 MW in 2025. De technieken benodigd voor 100% elektrificatie zullen (meer concreet) e-boilers en warmtepompen zijn. Voor de elektrificatie van smelt-, oven- en droogprocessen, de naverbranding van gassen en plasmabranders is nog veel innovatie nodig. Voor de gewenste aansluiting op de waterstofinfrastructuur worden bestaande aardgasleidingen gebruikt. Een gereguleerde waterstofleiding is onderdeel voor Rotterdam en Chemelot van strategisch belang. De verbinding naar het Duitse achterland is een belangrijke randvoorwaarde, evenals de integratie in het Europees waterstofnetwerk. De schatting van Chemelot is dat het in de toekomst 50% van de totale waterstofbehoefte kan voorzien. De rest zal geïmporteerd moeten worden via bijvoorbeeld Rotterdam of de Eemsdelta. Er zijn een aantal belangrijke voorbeelden van innovatie in de Chemelot-regio:

- Er is in opdracht van het MIW, het Havenbedrijf Rotterdam en Chemelot een haalbaarheidsstudie Buisleidingen Port of Rotterdam – Chemelot – Noordrijn- Westfalen uitgevoerd. Deze buisleidingen zullen voornamelijk gebruikt worden voor propaan en LPG, deze vormen de economische basis van de buisleidingcorridor.
- Voor de aan- en afvoer van duurzame waterstof van het cluster is een waterstofinfrastructuur nodig. Naar verwachting van het HyWay27 project zou Chemelot vanaf 27 aangesloten kunnen worden op de waterstofbackbone van Gasunie.
- Chemelot wil gebruikmaken van de opslag van CO₂ onder de Noordzee door middel van transport en aansluiting op opslagprojecten. Een deel van de vrijgekomen CO₂ door ammoniakproductie zal afgevangen worden en vervoerd naar een ontvangsthaven aan de Noordzee voor opslag. Zolang er geen beschikbare buisleiding is zal het transport tijdelijk plaatsvinden per schip. De verwachting is dat dit systeem in 2025/2027 klaar moet zijn voor gebruik.
- Naast de CO₂ afkomstig van ammoniakproductie worden ook andere CCS-projecten onderzocht, een voorbeeld hiervan is waterstofproductie uit reststromen (FUREC). Hierbij komt zuivere (deels groene) CO₂ vrij wat opgeslagen kan worden en zo tot negatieve emissies leidt.
- Chemelot zal fossiele grondstoffen zoals nafta en aardgas stapsgewijs vervangen door circulaire en biogene grondstoffen. Deze zullen in vaste of vloeibare vorm. Een van de stappen is het ontwikkelen van satellietlocaties binnen en buiten de regio voor de inzameling, opslag en voorbewerking van reststromen, biomassa en grondstoffen.

4.2.6 Het Zesde Cluster

De 9 sectoren (levensmiddelenindustrie, papierindustrie, chemische industrie, glasindustrie, keramische industrie, afval en recyclingsector, ICT-bedrijven, de metallurgische industrie en de olie- en gas exploratiebedrijven) omvatten zeer uiteenlopende bedrijvigheid en zijn daardoor moeilijk te vangen onder 1 innovatievraag. Op de korte termijn richten de innovaties binnen het zesde cluster zich op het verder verbeteren van proces efficiency, elektrificatie van warmte tot 200C, duurzame biograndstoffen, warmtelevering en CCU.

Binnen de keramische industrie bevinden zich voornamelijk familiebedrijven en enkele internationale concerns. De gewonnen rivierklei voor de productie van bijvoorbeeld bakstenen en dakpannen wordt gezien als een hernieuwbare grondstof. Verschillende meerjarige onderzoeken richten zich op elektrificatie van zanddrogers en de toepasbaarheid van alternatieven voor aardgas voor het bakproces. Verwacht wordt dat de keramische industrie voor 2030 geen aansluiting zal hebben op alternatieve brandstoffen, ondanks de behoefte aan groen gas en waterstof. Tot die tijd moet er worden ingezet op proces efficiency en elektrificatie van procesonderdelen.

De verduurzaming van de levensmiddelenindustrie zal samen moeten gaan met het streven naar circulaire landbouw. Processen binnen deze industrie zijn divers maar vertonen vaak overeenkomsten; scheiden, indampen, drogen, pasteuriseren, steriliseren, koken, verwarmen, waterzuivering en vergisten/verbranden. Voor besparing van aardgas wordt er gekeken naar een betere warmtebenutting, elektrificatie, proces efficiency en het gebruik van duurzame energie. Dit wordt gedaan door middel van onder andere damprecompressie en warmteterugwinning, elektrische boilers, membraantechnieken, sorptiedrogen en het vergisten van restromen.

De chemische industrie in het zesde cluster bestaat voornamelijk uit kleinere chemische bedrijven en startups. Deze voorzien de bulkproductie van 'specialty chemicals' zoals bouwstenen, grondstoffen en materialen. Vanuit deze positie kan er veel verduurzaming behaald worden, een innovatieve chemische sector die moleculen kan hergebruiken en om kan zetten naar duurzame materialen. Alternatieve feedstocks (biomassa, waterstof, CO₂) zijn minder locatie gebonden en zullen daarvoor veel toepassing vinden in de chemische industrie in het zesde cluster.

Binnen de metallurgische industrie zijn verschillende soorten bedrijven te onderscheiden die allen een andere energiebehoefte hebben. Voor de metallurgische industrie in het zesde cluster zijn verschillende mogelijkheden voor de besparing van energie, onder andere door middel van procesoptimalisatie, isolatie en warmteterugwinning. CCS en

elektrificatie van processen kan ook een grote bijdrage leveren. Omdat de productie van de metallurgische industrie bijna nooit eindproducten aflevert kan nadenken over de end-of-life fase van het product helpen bijdragen aan het eenvoudig recyclen.

In de papier- en kartonindustrie is het thermisch drogen van het papier de grootste stroomverbruiker, maar behalve het verduurzamen van deze stap kan er ook op andere manieren verduurzaamd worden. Proces efficiëntie en besparingen in de keten hebben al gezorgd voor een significante reductie. Onder andere de ketenefficiëntie kan vergroot worden door het leveren van restwarmte aan derden, circulariteit en hergebruik, biobased feedstock en het realiseren van lichtere producten of producten met functionaliteiten die elders in de keten energie besparen. Voor het drogen en ontwateren wordt er gekeken naar ultrasoon geluid, hiermee kunnen stoffen efficiënter ontwaterd worden.

De glasindustrie

In de glasindustrie wordt de meeste energie verbruikt bij het de eerste processtap; het omzetten van grondstoffen naar een glassmelt waarbij ontgast wordt op 1500C en vlamtemperaturen tot 2000C nodig kunnen zijn. De grootste uitstoot van NO_x, CO₂, SO_x en stof vindt plaats tijdens deze stap. Innovaties variëren tussen zuurstofgestookte processen met warmteterugwinning, hybride elektrische ovens, elektrische bijstook en decarbonisatie. Belangrijk is een stabiele toevoer en infrastructuur van duurzame brand- en grondstoffen, een onderdeel hiervan is het recyclen van glas voor het verder verlagen van grondstoffenverbruik.

Afvalsector

Als uitzondering zijn de bedrijven in de afvalsector geen productiebedrijven, de sector is een milieudienstverlener en leverancier van grondstoffen en energie. Het milieubewust verwerken van restafval leidt tot een reductie van CO₂ uitstoot elders in de waardeketen, ondanks dat hier wel CO₂ bij vrijkomt door het gebruik van bijvoorbeeld hulpbrandstoffen. AEC's (afvalenergiecentrales) leveren stoom en/of energie aan bedrijven of gemeenten in de buurt. Omdat de CO₂-emissies bij afvalverbranding voornamelijk uit het afval zelf afkomstig zijn kunnen verdere besparingsopties zich richten op CCU, CCS of het niet verbranden maar verder recyclen van afval.

ICT-sector

Deze sector bestaat uit 100.000 bedrijven, de telecombedrijven en datacenters zijn het meest relevant voor energieverbruik. Besparing van energie (en dus indirecte uitstoot) richt zich op het gebruiken van duurzame energie, procesoptimalisatie en teruglevering van warmte. Tevens dragen ICT-bedrijven indirect bij aan CO₂-reductie in andere sectoren door middel van onder andere procesoptimalisatie.

4.2.7 Offshore

Voor verkenning van ontwikkelingen op de Noordzee zijn een aantal initiatieven bezig met het structureel in kaart brengen hoe de opgave van uitbouw van windparken en ombouw van de offshore-industrie eruit gaan zien. De volgende initiatieven zijn daarin bekend:

Olie- en gasexploratie bedrijven

De olie- en gasproducenten zien mogelijkheden om bij te dragen aan de energie-transitie. Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor de olie- en gas (kennis-)infrastructuur: platformen, productielocaties, leidingen en lege olie – en gasvelden, en natuurlijk de professionals uit de sector. De sector wil initiatieven nemen om olie- en gaslocaties te kunnen benutten voor de kosteneffectieve opwekking van hernieuwbare energie (geothermie, hernieuwbare gassen, zon en wind) en voor de opslag van CO₂ en waterstof.

Northsea Windpower Hub

Binnen het north sea wind power hub-consortium werken TenneT (Nederland, Duitsland), Energinet (Denemarken), Gasunie en het havenbedrijf Rotterdam aan de ontwikkeling van een Europees energiesysteem op de Noordzee. HyTransPort is een waterstofleiding door de Rotterdamse haven in samenwerking met Hynetwork services.

NSE

Het North Sea Energy programma is een groot lang-jarig programma onder leiding van TNO. In dit programma wordt gekeken naar de ontwikkeling en ombouw van de offshore-industrie en wordt verkend hoe de doorgroei van windparken en de conversie en opslag van waterstof daar een rol in kunnen spelen. Het programma is breed opgezet en kijkt naar technologie, infrastructuur, ecologie en innovatie.

4.3 Grootschalige verkenning en planning

4.3.1 Ontwikkeling binnen de rijksoverheid en netbeheerders

Voor de transitie en ombouw van de industrieclusters worden grootschalige verkenningen en planning voor het behalen van de doelen voor 2030 uitgevoerd voor de infrastructuur voor aanlanding van elektriciteit en waterstof, de afvoer van CO₂ voor CCS en het hergebruik van gas infrastructuur. Deze planning vraagt om integrale visieontwikkeling, per cluster, tussen de clusters en in het verband tussen offshore en onshore industrie. EZK voert regie op nationale programma's die dit coördineren. Op dit moment is het leidende programma het PIDI voor infrastructuur voor verduurzaming van de industrie, en is er voor aanlanding onder andere het VAWOZ – programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee. Daarnaast loopt onder

andere het Programma Energie Systeem (PES). Er wordt nu een inzet gemaakt naar nationale programma's. De eerste relevante is het Nationaal Waterstof Programma en daarnaast worden nu het Nationaal Programma Energiesysteem, en het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie georganiseerd als nieuw structuur die vanuit EZK ingezet wordt op het coördinatie vraagstuk. Voor wetenschappelijke ondersteuning wordt de Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR) opgericht. Dit is een nieuwe, onafhankelijke en multidisciplinair samengestelde adviesraad die regering en parlement adviseert over het te voeren klimaatbeleid.

Naast de activiteiten van de overheid worden er door de netbeheerders verschillende activiteiten ingezet om infrastructuurplanning en investeringsplanning te organiseren. Bekend is het I3050 waarin met een cyclus van twee jaar de toekomstverkenning van de benodigde infrastructuur uitgevoerd wordt. In de recent editie van 2022-2023 is de industrieopgave verkend met het behulp van het Carbon Transition Model (CTM – ISPT en Kalavasta) en het Energy Transition Model (ETM – Quintel). Deze modellen zijn resultaat van jarenlange (door)ontwikkeling en worden steeds meer gebruikt door de netbeheerders voor hun eigen investeringsplanning en netstrategie. Het CTM is een resultaat van een innovatieproject onder leiding van ISPT. Dit model wordt nu al breder ingezet in diverse studies voor de overheid. Ontwikkeling en ontsluiting van dergelijke modellen voor gezamenlijke visieontwikkeling en besluitvorming zijn kern innovatie activiteiten voor de grootschalige verkenning en planning in de driehoek tussen overheid, netbeheer en industrie. ISPT organiseert hiervoor ook de komende jaren de Tekenkamer van de Industrie. TNO en andere partijen ontwikkelen ook diverse aanpakken op dit gebied.

4.4 Onderzoek en innovatie

Rond verkenning en ontwikkeling van nieuwe ketens vinden veel verschillende onderzoekstrajecten plaats. Op de technische universiteiten speelt ketenanalyse en systeemtransitie onderzoek zich af in faculteiten en afdelingen zoals Technische Bestuurskunde in Delft, maar ook in Eindhoven en Twente, en aan niet-technische universiteiten zoals Tilburg, Leiden, Utrecht, Rotterdam, Groningen, Nijmegen, Amsterdam, en verder. Een paar voorbeelden:

Bij de faculteit TBM van de TUDelft wordt onder andere gekeken naar industriële transformatie van industrieclusters, naar energie marktontwikkeling, naar een rechtvaardige transitie (just transition) en naar integrale systeemtransformatie. In samenwerking met Universiteit Tilburg wordt ook gekeken naar juridische en regulatorie kanten van de transitie.

Integrale verkenningen van de industrie in Nederland worden onder andere aan het Copernicus Instituut uitgevoerd binnen het Sustainable Industry Lab. In deze samenwerking worden studies gedaan om bijvoorbeeld een beeld te krijgen van het

hergebruik van koolstof binnen de Nederlandse maatschappij, en om een beeld te krijgen van een toekomstig industrieportfolio dat past binnen de Nederlandse grenzen.

Naast academisch werk wordt er veel kennis rond industrietransformatie opgebouwd bij TNO. Verschillende afdelingen binnen TNO hebben onder andere modelleeractiviteiten en ondersteunende rollen op dit thema. Werk wordt onder andere uitgevoerd in programma vanuit afdelingen zoals Beleidsstudies (Amsterdam) maar ook uit andere afdelingen. Denk aan programma's System Transition, Sustainable Chemical Industry, Industriële Elektrificatie en CCUS, Smart Industry en Multitransitions - Transitions and Transformations.

4.5 Kennisontwikkeling bij adviseurs en ingenieursbureaus

Naast praktijkverkenningen en kennisopbouw wordt er ook veel kennis ontwikkeld en verspreid via adviseurs en ingenieursbureaus. Deze organisaties ondersteunen de industrie vaak met haalbaarheidsstudies, ontwerpstudies en in realisatie met EPC-trajecten. Het zijn organisaties die een rol hebben bij de integratie van verschillende techno-economische, sociaal-maatschappelijke, organisatorische en andere bredere vraagstukken. Zij organiseren kennis netwerken en platforms en ze publiceren vaak toonaangevende rapporten die invloed op beleid en uitvoering geven. Ze ondersteunen het veld breed en zijn een belangrijke spil in het kennis en innovatie netwerk. Een paar voorbeelden van partijen die actief zijn in het veld zijn

- Kleinere niche bureaus: Quintel, Kalavasta, QuoMare, Darel, Power2X, Water & Energy Solutions, CEDelft, Systemiq, Metabolic
- Grotere ingenieursbureaus die actief zijn in het veld, bijvoorbeeld RHDHV, Fluor, Worley, Cummins, McDermott
- Grotere adviseurs in Nederland zijn onder andere McKinsey, RolandBerger, BCG, Guidehouse

5. Samenhang op hoofdlijnen

De MMIP Keten- en Systeemaspecten heeft een duidelijk verband met de andere missies van Missie C, en daarnaast met andere MMIPs van de Topsector Energie. We benoemen ze hier kort.

Het energietransitie vraagstuk zal een belangrijke rol voor de lange termijn spelen voor de ontwikkeling van onze regio. In MMIP1 wordt gekeken hoe verdergaande opschaling van offshore wind tegen de laagste kosten gerealiseerd kan worden. Een belangrijke uitdaging is daarbij dat de opgewekte stroom maximaal benut kan worden en dat daarbij op zonarme en windstille dagen zonder CO₂ emissies de industrie toch door kan draaien, of in staat is met het afnemend aanbod mee te bewegen. MMIP 8 hangt daarom samen met:

- MMIP 1 – Wind op Zee – binnen deze MMIP ligt de focus op doorontwikkeling van offshore windparken, verdergaande realisatie van kostendaling, en systeemintegratie, onder andere via conversie en opslag offshore. Deze integratievraagstukken kunnen niet los gezien worden van de transitie in de industrie, die een van de grootste geconcentreerde afnemers van energie is.
- MMIP 13 – Systeem Integratie – sluit ook heel dicht aan tegen deze missie. Het verdelingsvraagstuk van energie over de verschillende gebruikers gaat verder dan de industrie. Een rechtvaardige transitie houdt de balans tussen gebruikers in de gaten, en de ontwikkeling van infratructuur, slimme opslagvormen en inzet van grootschalige opslag valt hierbij samen. Daarnaast zijn slimme digitale technieken om transitiepaden te verkennen en te analyseren, het gebruik en delen van data, en veel andere geavanceerde decision-support tools en methoden in beide MMIPs belangrijke prioriteiten.
- De samenhang met andere MMIPs en TSE breed is ook helder. De systeemrol van de industrie in leveren van duurzame brandstoffen hangt samen met inzet in mobiliteit, verdelen van energie over industrie en gebouwde omgeving de uitkoppeling van restwarmte naar de gebouwde omgeving hangt samen met Urban Energy.

6. Stakeholders/actoren

De stakeholders worden systematisch in kaart gebracht van clusters naar nationaal beeld, naar Noordzee en omringende landen, naar Europa en uiteindelijk wereldspelers.

6.1 Industrieclusters

North Sea Port/Zeeland

Het voornaamste aanlandingspunt voor windparken op de Noordzee bevindt zich in de SDR-regio, waardoor groene waterstofproductie mogelijk wordt. Er zijn meerdere electrolyser projecten van gezamenlijk 2GW in ontwikkeling. Behalve deze projecten vinden er ook meerdere blauwe waterstof en CCU-projecten aanwezig.

De aanwezigheid van een aantal grootschalige SMR's zullen zorgen voor een flexibele integratie van groene waterstofproductie.

Industrie: Dow, Yara, Air Liquide, Cargill, Ørsted, Enduris, Zeeland Refinery, PZEM, Vopak, Dow, Arcelormittal, Engie, Air products, Fluxys, Cosun, Lamb Weston

Cluster Coördinatie: TenneT, Gasunie, SDR, Impuls Zeeland.

Lokale overheden: North Sea Port Provincie Zeeland, Gemeente Terneuzen, Gemeente Borsele, Provincie Zeeland

Nationale overheid: Ministerie EZK, Rijkswaterstaat

Kennisinstellingen: Universiteit Gent, HZ University of applied sciences (Hogeschool Zeeland).

Rotterdam/Moerdijk

De bestaande 'short-sea' lijnen, de directe connectie naar open zee, de connectie naar het inlandse water en het spoornetwerk maakt het een aantrekkelijke plaats voor transport, ook het systeem van pijpleidingen voor chemische materialen en producten is een goedkoper en veiliger alternatief dan wegtransport.

Door clusters van bedrijven en industrie met eenzelfde soort activiteiten kan er meer duurzame synergie ontstaan.

Industrie: Vopak, HES, Koole, Air Products, OCI, GES, BP, Exxon mobil, Shell, Uniper, Air Liquide, Enexis, Nouryon, Nobian

Cluster Coördinatie: TenneT, havenbedrijf Rotterdam,

havenbedrijf Moerdijk, Deltalinqs, Stedin, Gasunie, EBN, Eneco

Lokale overheden (Provincie): provincie Noord-Brabant, gemeente Moerdijk, provincie Zuid-Holland

Nationale overheid: EZK, RVO

Kennisinstellingen: TNO, Erasmus universiteit, hogeschool van Rotterdam, FLIE (Fieldlab industrial electrification)

NZKG/IJmond/Amsterdam/Zaandam

In het Noordzeekanaal gebied wordt op industriële schaal ingezet op waterstof vanaf 2025/2026, ten behoeve van staalproductie en schonere brandstoffen. Ook wordt er ingezet op de verdere elektrificatie van de industrie. Dit vereist aanpassingen in de bestaande infrastructuur.

Industrie: ENGIE, Vos, TET, Tata steel, Nobian, Oiltanking, Linde gas, RWZI, Crown van Gelder, Cargill, Waternet, EVOS, Renewi, HyCC, Albemarle, GIDARA, Sonneborn Refined Products, Olam Cacao, Albemarle Catalyst Company.

Cluster Coördinatie: Zeehaven IJmuiden, ORAM, Port of Amsterdam, Vattenfall, Liander, TenneT Gasunie, Tata Steel, Zaanstad Maakstad, Schiphol, Ayop, Odijmond, PWC, Alliander

Lokale overheden: Provincie Noord-Holland, Gemeente Zaanstad, Gemeente Amsterdam, Gemeente Heemskerk, Gemeente Velsen, Gemeente Beverwijk, Gemeente Haarlemmermeer

Nationale overheid: EZK, BZK

Kennisinstellingen: UVA, VU, HVA

Groene chemiecluster Groningen (Chemport Europe/ Chemical cluster Delfzijl/Eemsdelta)

In de Noord-Nederlandse energiecluster wordt ingezet op de volgende verduurzaming van productieprocessen: CCU/ CCS, circulariteit, energie efficiëntie, groene grondstoffen, procesinnovatie en het veranderen van energiebronnen. Door de ligging heeft de Noord-Nederlandse energiecluster een vaste aanlevering aan suikerbieten, aardappelen, granen, zout en water. Ook bevinden zich er twee duurzame chemieclusters in intermediaire chemicaliën, polymeren en vezels.

Industrie: Arkema, Avantium, Bertschi, BioMCN/OCI, ChemCom Industries, Contitank Tankstorage, Damco Aluminium (Aldel), Delamine, Dow Benelux, ESD-SIC, Evonik, Lubrizol Advanced Materials Resin, Musim Mas (Dutch Refinery Group) NAM, Delesto (power and heat plant 530MW), Nobian, Nouryon, Photanol, PPG Industries Chemicals, Stork, Tejin Aramid, Zeolyst.

Cluster Coördinatie: Enexis netbeheer, TenneT, Groningen Seaports, Gasunie, NAM, EEW, RWE, Enpuls, Warmtestad, Havenbedrijf North Sea Port, Natuur en milieufederatie Groningen, Vattenfall.

Lokale overheden (Provincie): provincie Groningen, Hogeland Eemsdelta

Nationale overheid: EZK, RVO, Nationaal coördinator Groningen

Kennisinstellingen: Hanzehogeschool Groningen, Rijksuniversiteit Groningen, TNO, Chemiecampus, Energy Delta Institute, Chemport Innovation Center

Chemelot

Bij de verduurzaming van Chemelot ligt de focus op groene elektriciteit, waterstof, methaan/biogassen, restwarmte en CO₂ transport. Door deze onderdelen is er minder aandacht voor private en niet-gereguleerde productieleidingen, ondanks dat deze essentieel zijn voor de industrie.

Industrie: Arlanxeo, AnQore, DSM, Fibrant, OCI Nitrogen, Sabic, Basic pharma, Air Liquide, Basic pharma, Black Bear Carbon, Carbolim, Cymaco, DB Cargo Nederland, Intertek, Mammoet, Mitsui Prime Advanced Composites Europe, Plastic Energy, QCP, Rail Terminal Chemelot, RWE Generation NL, Seksisui S-Lec, Cluster Coördinatie: Provincie Limburg, het Limburgs Energie Akkoord (LEA), TenneT, Gasunie, Enexis, projectorganisatie Delta Corridor.

Lokale overheden: Provincie Limburg

Nationale overheid: EZK, I&W, BZK

Kennisinstellingen: Brightlands Chemelot Campus, Maastricht University, Fontys hogeschool, HAS-hogeschool, Universiteit Hasselt.

Het zesde cluster

Wordt onder andere vertegenwoordigd door de diverse branches. KNB (keramische industrie), FNLI (levensmiddelenindustrie), VNCI (chemische industrie), VNMI/ AVNeG (metallurgische industrie), VNP (papier- en kartonindustrie), VNG (glasindustrie), VA (afval- en recycling sector), NLdigital (ICT-sector), ElementNL (v/h NOGEPa, olie- en gas exploratiebedrijven).

6.2 Internationaal

Omringende landen & Noordzee

Ook internationaal zullen de waardeketens, en daarmee de stakeholders en actoren, veranderen. In omringende landen worden nieuwe samenwerkingen opgezet met de focus op een internationaal waterstof en energienetwerk.

North Sea Port is een fusie van de havens van Gent, Terneuzen en Vlissingen waar wordt gewerkt aan circulariteit, duurzaam transport en waterstof. Andere relevante samenwerkingen en projecten zijn: Cleantech cluster Gent (Stad Gent, North Sea Port, de Universiteit Gent, de Provincie Oost-Vlaanderen, de Provinciale Ontwikkelingsmaatschappij Oost-Vlaanderen en i-Cleantech Vlaanderen)

Smart Delta Resources, Delta Corridor Project (vier pijpleidingen tussen de Rotterdamse haven, Chemelot en het Duitse Rijnland), North Sea Wind Power Hub (TenneT, Energinet (Denemarken), Gasunie en het havenbedrijf Rotterdam)

Europa en Internationaal

In Europa zijn toonaangevende innovatieorganisaties actief gericht op onder andere waterstof en duurzame industrie in samenhang met de Europese Commissie. Belangrijk zijn de brancheverenigingen zoals Cefic, CEPI en vele anderen, de European Technology Platforms zoals Suschem, European Hydrogen and Fuel Cell TP, ESTEP voor staal en meer¹.

Daarnaast zijn de PPPs en Joint Undertakings actief in programmeren en agenderen van innovatieprogramma's met de Europese commissie. Relevant zijn hier onder andere SPIRE, Biobased Europe en Hydrogen Europe.

Naast deze netwerken die gelieerd zijn aan de activiteiten van de Europese Commissie zijn er ook denktanks actief in Europa. Denk hierbij onder andere aan Agora Energiewende, Rystad, Nova Institute en nog meer.

International verbanden gericht op ontwikkeling van nieuwe ketens en ontwikkeling van duurzame energie en industrie zijn onder andere aan het toonaangevende International Energy Agency (IEA), en het International Renewable Energy Agency (IRENA), maar ook bijvoorbeeld de Rocky Mountains Institute (RMI), de World Resource Institutes (RWI), IMPCA (International Methanol Producers and Consumers Association), Methanol Institute, Ammonia Energy Association, Hydrogen Council.

¹ <https://www.ffg.at/en/program/migriert-european-technology-platforms>

7. Omgevingsanalyse en -factoren

MMIP 8 is gericht op ketens en systemen en daarmee niet alleen technisch, maar ook grotendeels socio-economische van aard. Daarmee is het doorsnijdende programma Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI) van de Topsector Energie een belangrijk aandachtsgebied. Een aantal generieke en doorsnijdende innovatiegebieden zijn daarnaast nog van essentieel belang. Digitalisering en Human Capital worden daarom als doorsnijdend thema specifiek beschreven.

7.1 Digitalisering

Algemeen

Digitalisering en het gebruik van *big data* zijn doorsnijdende thema's voor veel innovatieprogramma's, ook voor MMIP 8. Hieronder eerste een algemene beschrijving wat wordt verstaan onder digitalisatie en wat de trends en wordt verder ingegaan op specifiek voor MMIP 7 relevante digitalisatie stappen.

Digitale transformatie is geen one-size-fits-all aanpak. Spelers in de industrie hebben unieke infrastructuren, bedrijfsmodellen, organisatiestructuur en vaardigheden van hun personeel. Hun gereedheid voor digitale transformatie varieert sterk, wat ook impliceert dat ze een op maat gemaakte digitale transformatiestrategieën en roadmaps nodig hebben. Bereidheid voor digitale transformatie vereist niet alleen de bereidheid van de belangrijkste belanghebbenden om de nodige toezeggingen te doen of de juiste technologieën te hebben, het vereist ook inzicht in de bestaande organisatie, mensen en behoeften van de supply chain en klanten. Zonder deze fundamentele aspecten te begrijpen, is digitale transformatie fragiel. Om digitale transformatie te laten slagen moeten bedrijven hun huidige technologie, processen en infrastructuur, menselijk kapitaal, organisatiestructuur onderling afwegen. Daarmee kunnen prioriteiten worden gesteld aan investeringen en initiatieven en kan worden bregrepen waar de huidige sterke en zwakke punten binnen de organisatie liggen. In een workshop met industriële eindgebruikers is verkend welke innovatiebehoeften en vereisten er bestaan voor digitale technologie moet hebben, om met succes ingezet te worden voor een net zero industrie te.

Algemene trends op het gebied van digitalisering:

- Toegenomen connectiviteit van assets
- Nieuwe mogelijkheden van tracing van producten
- Initiatieven met datasafehouses
- Initiatieven met product paspoorten en product vingerafdrukken
- Groeiend volume en variëteit van data maar achterblijvende standaarden
- Meer smart assets
- Decentralisering van computing (edge computing)
- Toegenomen focus op cybersecurity
- Snelle digitale technologie ontwikkeling van met name van AI
- Nieuwe (Europese) wetgeving over dataopslag en ethische AI.

De volgende informatie komt uit de Handreiking slimme energiesystemen van de Topsector Energie, met daarin opgenomen e-hub filosofie. De focus van de bedrijven ligt vooral op de eigen bedrijfsvoering. Door netcongestie ontstaat in veel gebieden de urgentie om met slimme energiesystemen aan de slag te gaan. Simpelweg omdat dit de voortgang en betrouwbaarheid van de eigen bedrijfsvoering in de weg kan zitten. Door congestie kunnen sommige partijen (zowel afnemers als producenten) namelijk niet de gewenste aansluiting krijgen. Daarnaast heeft de industrie de behoefte om te kunnen reageren in de verscheidenheid in de energiemix, zowel in volume als in tijd (adaptiviteit). Dat kan gaan om een nieuwe aansluiting, of een verzwaarde aansluiting wanneer een bedrijf bijvoorbeeld wil elektrificeren (denk aan laadinfrastructuur).

De volgende behoefte aan data en toepassing van IT technologie is geïdentificeerd

Databehoefte	IT Technologie	Ondersteunende technologische ontwikkelingen
<ul style="list-style-type: none"> • Energie verbruik op asset, site en keten level • Emissie data • Carbon pricing en ETS data • Process data • Asset health data • Duurzaamheidsdata over product, productieproces en lifecycle (LCA) • Data tbv van ESG. • Financiële data • Juridische data • Logistieke en OT-planningsdata • Product flow informatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Cyber physical systems • Data-driven decision systems • Robotisering • AI en machine learning • Blockchain • Advanced process control, o.a. om variabele energielevering te beheersen. • Process control van elektrische processen • Smart maintenance • AR voor onderhoud • Digital twins • Connectivity • Communication protocols • Big Data • Balans tussen data- en model-gedreven engineering 	<ul style="list-style-type: none"> • Overall Equipment Efficiency proces methodieken • Acceptatie van algoritmes en Human-Centered Design. • Responsibility en transparantie van algoritmes. • Focus op digital literacy en digital skills.

Daarbij pleiten we net als de Europese unie voor een community rond cyber security met de volgende prioriteiten en activiteiten:

- **Cyberweerbaarheid opbouwen:** cyberweerbaarheid verbeteren door toekomstgerichte oplossingen te ontwikkelen en op te schalen en effectieve praktijken in digitale ecosystemen te bevorderen.
- **Versterking van de mondiale samenwerking:** meer mondiale samenwerking tussen publieke en private belanghebbenden door een collectieve reactie op cybercriminaliteit te bevorderen en gezamenlijk de belangrijkste veiligheidsuitdagingen aan te pakken.
- **Inzicht in toekomstige netwerken en technologie:** het identificeren van toekomstige cyberbeveiligingsuitdagingen en -kansen met betrekking tot Industrie 4.0-technologieën en het bevorderen van betrouwbare en ethische technologische oplossingen.

7.2 Human Capital Agenda (HCA)

Het is de totale constellatie van organisaties/actoren en de instituties die het verloop van innovatieprocessen bepalen. Daarbij zijn interacties allesbepalend en leren gebeurt bij uitstek door interactie. Deze structuur bevat 7 sleutelprocessen:

- Experimenteren door ondernemers
- Kennisontwikkeling
- Kennisuitwisseling
- Richting geven aan het zoekproces
- Markt formatie
- Mobiliseren van middelen
- Tegengaan van weerstand

Ten behoeve van kennisdiffusie is het van belang dat er een goede connectie is tussen de plekken waar kennis wordt ontwikkeld (kennisinstituten, innovatieprojecten) en waar kennis gebruikt moet gaan worden. Innovatie moet dus gekoppeld worden aan PPS-netwerken waar werken leren en innoveren samenkomen. Dergelijke netwerken/ sociale systemen bestaan in velerlei vormen, met een eigen focus, aanleiding, samenstelling en eigenschappen en verschillende benamingen. Afhankelijk van of de nadruk ligt op leren, innoveren of werken, is de vorm, samenstelling en (gekozen) naam van het sociale systeem anders (zoals bijvoorbeeld Leernetwerk, Living Lab, of Innovatie Community. Omdat dergelijke initiatieven in de context van de beroepspraktijk zijn georganiseerd, kunnen ze bijdragen aan anders werken, innoveren en/of (gezamenlijk) leren, wat ook wel de “WIL-driehoek” wordt genoemd. Het draait in een dergelijk sociaal (leer)systeem niet alleen om kennisdeling, maar ook om kennisproductie en -toepassing (zie ook: Landelijk Position paper Learning Communities 2022)

8. Communicatie, leren en disseminatie

Aandacht voor communicatie, leren en disseminatie is essentieel voor dit MMIP, omdat de kern bestaat uit het ontwikkelen van nieuwe, geïntegreerde manieren om in ketens en systemen te innoveren. Daarbij zijn intrinsiek veel spelers betrokken, vaak uit verschillende subsectoren en disciplines. Voor de verschillende deelprogramma's is dit daarom integraal meegenomen in de beschrijving van innovaties en activiteiten.

Financiering, instrumentering en randvoorwaarden in beleid

Nationaal Groeifonds programma's

Deelprogramma Energie en grondstoffen in een nieuw energiesysteem heeft raakvlakken met GroenvermogenNL I en II (waterstofketen), met Circular Plastics NL (plastic keten) en met Future Carbon NL (koolstofketen, CCU). Voor het deelprogramma infrastructuur en opslag, zien we kansen om het groeifondsvoorstel REFLEX te ontwikkelen, dat zich zal bezighouden met inpassing van industriële elektrificatie in het elektriciteitssysteem. Op het gebied van deelprogramma digitalisatie zijn er belangrijke raakvlakken met de AI Coalitie.

Programma's in het Nationaal Groeifonds hebben een lange aanlooptijd, ook na toekenning. Tijdens de komende looptijd van dit MMIP is daarom behoefte aan grote projecten in de subsidieregelingen, mede als aanloop naar grotere programma's in het Nationaal Groeifonds.

Subsidieregelingen

Generiek zien we een barrière om keten- en systeemprojecten van de grond te krijgen met subsidies. Dit type werkzaamheden laat zich slecht beschrijven als een "product, proces of dienst", zoals in het staatssteunkader vereist is. Tegelijk zijn projecten die verder gaan dan losse technieken essentieel voor de huidige, complexere fase van de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire industrie.

We pleiten daarom voor ruime financieringsmogelijkheden voor projecten die modellering, ontwerp en systeeminnovaties doen. Alleen via de lens van ketens en systemen kunnen daadwerkelijke doorbraken worden gezien en aangejaagd.

Randvoorwaarden

Belangrijke randvoorwaarden voor het verduurzamen van de industrie zijn CO₂-beprijzing en stabiel beleid dat perspectief biedt voor investeringen in duurzame processen. De CO₂-beprijzing is Europees geregeld via ETS en nationaal via een CO₂-heffing. De voorgenomen CBAM geeft Europese bedrijven zekerheid ten opzichte van fabrieken in andere werelddelen. De CO₂-prijs is een reële drijfveer geworden voor scope 1 emissiereductie.

Voor de verandering van ketens en systemen is echter meer nodig dan incrementeel oplopende kosten voor CO₂. Bedrijven en ketenpartners moeten de zekerheid hebben dat hun grote investeringen in het toekomstige energiesysteem en in de nieuwe waardeketens passen.

In het coalitieakkoord is afgesproken om maatwerkafspraken te maken met de bestaande grote uitstoters van CO₂. Dit komt stap voor stap tot stand en lijkt een zinvolle manier om grote bedrijven de zekerheid te bieden die nodig is voor diepe investeringen naar een klimaatneutrale toekomst. Daarnaast kan het zinvol zijn om vergelijkbare afspraken te maken met bedrijven die opkomende ketens en producten leveren, en daarmee onderdeel kunnen worden van de duurzame industriële toekomst.

We voorzien een belangrijke rol voor roadmaps en beleidsnotities, om een richting te schetsen in een systeem met vele opties en routes. Elektrificatie en waterstof zijn intrinsiek veranderingen van complete waardeketens. Daarbij zijn de risico's voor individuele bedrijven groot, en daarom is stabiel en helder beleid essentieel. We hechten daarom belang aan het nationaal plan energiesysteem en de rol van de industrie daarin. En we zien meerwaarde in een beleidsmatige vertaling van de routekaart elektrificatie, die tussenstappen definieert onderweg naar een verregaand geëlektrificeerde industrie.

