

# MMIP6: Sluiting van industriële ketens

Definitief voorstel

## **Kernteam MMIP6**

Oscar van den Brink, trekker (Holland Chemistry)

Peter Alderliesten (TKI Energie en Industrie)

Edith Engelen (RVO, namens EZK)

Ed de Jong (Avantium)

Kees de Gooijer (TKI BBE)

Gert-Jan Gruter (Avantium)

Eric van den Heuvel (Platform Duurzame Biobrandstoffen)

Jan Hopman (TNO, CATO)

Sacha Kersten (UT, ISPT)

Saskia Lavrijssen (UT)

Piet-Jan Vet (VNMI/METALOT)

Andrea Ramirez Ramirez (TUD)

Matthijs Ruitenbeek (DOW)

Maria Soliman (Sabic)

Margot Weijnen (TUD)

Marinke Wijngaard (TNO)

Jaap Vente (TNO)

Remko Ybema (Nouryon)

## Inhoudsopgave

1	Samenvatting .....	4
1.1	De deelprogramma's .....	4
1.2	Innovatie-inspanningen 2020-2023 .....	7
1.3	Vernieuwde programmering .....	7
2	Missie C voor Industrie .....	8
2.1	Achtergrond.....	8
2.2	Visie .....	10
2.3	Samenhang tussen de MMIP's .....	10
2.4	Missie C en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren.....	15
2.5	Missie C en HCA .....	16
2.6	Missie C en Digitalisering .....	17
2.7	Randvoorwaarden .....	18
2.8	Samenwerking en afstemming .....	19
2.9	Valorisatie en marktcreatie.....	25
2.10	Monitoring en evaluatie .....	26
	Bijlagen .....	28
2.11	Procesbeschrijving .....	28
2.12	Criteria voor prioriteren innovatieopgaven.....	28
2.13	Financieringscategorisering .....	29
3	MMIP6: Sluiting van industriële ketens .....	30
3.1	Inleiding.....	30
3.2	Visie op sluiting van industriële ketens, samenhang tussen de deelprogramma's .....	31
3.3	Stand van zaken.....	33
3.4	Randvoorwaarden/beleid .....	33
3.5	Valorisatie en marktcreatie.....	34
3.6	Samenwerking en samenhang met andere MMIP's .....	37
4	Deelprogramma 1: Circulaire kunststoffen .....	39
4.1	Programmatische aanpak .....	39
4.2	Stand van zaken Circulaire kunststoffen .....	44
4.3	Innovatieopgaven.....	47
4.4	Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie.....	51
4.5	Stakeholders/actoren .....	52
4.6	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren.....	53
4.7	Communicatie, leren en disseminatie.....	54
5	Deelprogramma 2: Biobased grondstoffen voor producten en transportbrandstoffen .....	55
5.1	Programmatische aanpak .....	55
5.2	Stand van zaken.....	60
5.3	Innovatieopgaven.....	63
5.4	Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie.....	65

5.5	Stakeholders/ actoren .....	67
5.6	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren.....	67
5.7	Communicatie, leren en disseminatie.....	68
6	Deelprogramma 3: CCU.....	70
6.1	Programmatische aanpak .....	70
6.2	Stand van zaken CCU.....	74
6.3	Innovatieopgaven.....	74
6.4	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren.....	78
7	Deelprogramma 4: Circulaire non-ferrometalen .....	81
7.1	Programmatische aanpak .....	81
7.2	Stand van zaken productie en recycling non-ferrometalen.....	86
7.3	Innovatieopgaven.....	87
7.4	Stakeholders/actoren .....	90
8	Deelprogramma 5: CCS.....	91
8.1	Programmatische aanpak .....	91
8.2	Stand van zaken CCS.....	95
8.3	Innovatieopgaven.....	96
8.4	Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie.....	98
8.5	Stakeholders/actoren - CCS.....	98
8.6	Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren.....	99
8.7	Communicatie, leren en disseminatie.....	99

# 1 Samenvatting

Het programma 'Sluiting van Industriële Ketens' is één van de drie meerjarige, missiegedreven innovatieprogramma's (MMIP's) die gezamenlijk de kennis en benodigde innovatie beschrijven om de volgende missie te realiseren:

**Missie C.** In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80 procent circulair. In 2030 worden in Nederland 50 procent minder primaire grondstoffen verbruikt en zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en de afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt, elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geeffectueerd, CCS wordt kosteneffectief ingezet, duurzame waterstofproductie is op weg naar implementatie en biograndstoffen worden gezien als de standaard.

De andere twee MMIP's voor de verduurzaming van de industrie hebben betrekking op de realisatie van een CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem (MMIP 7) en elektrificatie en radicaal vernieuwde processen (MMIP 8).

De klimaatopgave voor de industrie is in het Ontwerp Klimaatakkoord vastgesteld op 14,3 Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie in 2030, additioneel aan het bestaande beleid (5,1 Mton reductie), en klimaatneutraliteit in 2050. Kabinet en industrie hebben daarnaast de gezamenlijke ambitie geformuleerd dat alle Nederlandse industriële bedrijven in 2030 behoren tot de 10% meest CO<sub>2</sub>-efficiënte bedrijven van Europa in hun sector. Voor het slagen van de systeemtransitie in de industrie is het noodzakelijk om nieuwe processen en technieken te ontwikkelen, die het mogelijk maken om efficiënter maar ook vooral anders en beter te produceren. Innovatief onderzoek, pilots en demonstratie zijn van groot belang om de benodigde nieuwe technologieën beschikbaar, betrouwbaar en betaalbaar te krijgen. Het accent in de MMIP's voor de industrie ligt op het realiseren van kostenreductie en versneld naar de markt brengen van technologieën zoals elektrolyse van water (groene waterstof), elektrificatie, CCU(S), circulaire processen en warmte-uitkoppeling.

Het MMIP 'Sluiting van industriële ketens' (MMIP 6) is onderverdeeld in vijf deelprogramma's. Vier deelprogramma's zijn gericht op sluiting van industriële grondstof/materiaalketens in de industrie, het vijfde deelprogramma focust op het op korte termijn realiseren van forse CO<sub>2</sub>-reductie middels CCS (Carbon Capture and Storage).

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

In MMIP-6 worden de afzonderlijke deelprogramma's zoveel mogelijk beschreven in drie paragrafen a) ontwerp voor circulariteit, b) circulaire grondstoffen en productieprocessen en c) vertrouwen, gedrag en acceptatie.

## 1.1 De deelprogramma's

### **Circulaire kunststoffen**

In het deelprogramma circulaire kunststoffen ligt de focus op het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-emissies als gevolg van de productie en het gebruik van kunststoffen. De transitie verloopt langs drie strategische lijnen: 1) redesign, 2) reuse en 3) recycling. Een voorwaarde voor een circulair ontwerp is dat het veilig voor mens en milieu is (safe and circular by design). Redesign is ook nodig omdat een deel van de kunststoftoepassingen niet geschikt of optimaal is voor hergebruik en recycling. Voor verpakkingen is dit aandeel nu 30%. Als deze kunststoffen in de afvalverbranding terecht komen, zoals in Nederland veelal gebeurt, leidt dat tot CO<sub>2</sub>-emissies. Hergebruik, ofwel het opnieuw gebruiken van kunststoffen en producten, spaart grondstoffen en procesenergie bij de productie en

voorkomt daardoor ook emissies bij de verbranding of eindverwerking. Het is van belang kunststoffen zo hoogwaardig mogelijk her te gebruiken.

Bij recycling is het cruciaal om dat zoveel mogelijk horizontaal te doen (dat wil zeggen, naar een soortgelijk product). Op dit moment wordt maar 2% van de gerecyclede kunststoffen weer voor dezelfde of een vergelijkbare toepassing gebruikt. Het overige deel gaat naar laagwaardigere toepassingen. Hierdoor blijft de behoefte aan nieuwe primaire grondstoffen groot, terwijl verbranding van kunststof na gebruik leidt tot materiaalverlies en CO<sub>2</sub>-emissies.

Het deelprogramma circulaire kunststoffen zet richting 2030 in op doorontwikkeling en demonstratie van mechanische en chemische recyclingtechnologieën. Daarnaast wordt ingezet op systeembegrip en ontwerp van de plasticeten en op vernieuwend materiaal- en productontwerp, evenals de ontwikkeling van nieuwe businessmodellen en de maatschappelijke inbedding daarvan, inclusief de ontwikkeling van recycelaatstandaarden. Deze innovaties moeten in 2050 resulteren in maximaal circulaire kunststofketens.

### **Biobased grondstoffen voor producten en transportbrandstoffen**

Dit deelprogramma focust op de inzet van biomassa als grondstof voor materialen en producten in de industrie. Deze inzet kan het gebruik van fossiele grondstoffen vervangen. Het doel is om in 2030 biobased grondstoffen toe te passen hoogwaardige productketens. In 2050 wordt brede bulktoepassing bereikt met een totaal potentieel van 20% van het fossiele grondstoffengebruik (190 PJ). Doordat aan het gebruik van biobased grondstoffen strenge duurzaamheidseisen worden gesteld en deze grondstoffen in de groeifase CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer binden, leveren zij in vergelijking met de inzet van fossiele grondstoffen significante CO<sub>2</sub>-besparingen op in de keten. Dit deelprogramma richt zich ook op de inzet van biomassa voor transportbrandstoffen en draagt daarmee ook bij aan het realiseren van de klimaatdoelstellingen van de sector mobiliteit. Het doel voor biobased transportbrandstoffen voor 2030 is de productie van 100 PJ biobrandstoffen voor onder andere zwaar wegtransport en scheepvaart. Voor 2050 zijn nog geen kwantitatieve doelen vastgesteld.

Richting 2030 zet het programma in op de realisatie van hoogwaardige productketens (met name kunststoffen, bio-aromaten, organische zuren, MEG) en geavanceerde biobrandstoffen<sup>1</sup> voor wegtransport, de binnenscheepvaart en de luchtvaart. Daarnaast zet het in op demonstratie van vergassing en pyrolysetechnologie voor chemie- en energietoepassingen en op de doorontwikkeling en demonstratie van bioraffinageconcepten. Naast deze technische innovatieopgaven richt het programma zich op cross-disciplinaire en cross-sectorale samenwerking rond organisatorische innovaties, gericht op het mobiliseren van duurzame biomassaketens. Dit heeft als doel om de supply chain op middellange en lange termijn te kunnen waarborgen.

### **CCU / CO<sub>2</sub> als grondstof**

De ontwikkeling van kennis en innovaties om CO<sub>2</sub> en CO uit proces- en verbrandingsgassen in te zetten als grondstof voor producten vormt de kern van dit deelprogramma. De afvang en het transport van CO<sub>2</sub> zijn onderdeel van het deelprogramma CCS, dat hieronder wordt beschreven. Een tweetal toepassingen is met succes gedemonstreerd en toegepast en kan de komende jaren worden opgeschaald. Het gaat dan om uitbreiding CO<sub>2</sub>-levering aan de glastuinbouw en om de natriumbicarbonaatproductie in AVI's. Het reductiepotentieel bedraagt voor Nederland respectievelijk 1,4 Mton (besparing in de glastuinbouw) en 0,5 Mton (bij AVI's) CO<sub>2</sub>-emissies tot 2030.

De focus in dit deelprogramma ligt op de ontwikkeling en demonstratie van duurzame processen voor de productie van chemicaliën uit CO en CO<sub>2</sub>, waarbij beoogd wordt drie routes op demonstratieschaal te bewijzen voor 2030: 1) benutting CO uit de staalindustrie voor de productie van nafta, 2) elektrochemische conversie van CO<sub>2</sub> in basisbouwstenen (CO, mierenzuur) en 3) fotosynthetische en microbiële conversie naar organische zuren. Omzetting van CO en CO<sub>2</sub> tot synthetische brandstoffen behoort ook tot de mogelijkheden en zal, tot het moment dat deze brandstoffen worden ingezet, een positief effect hebben op de CO<sub>2</sub>-emissiereductie.

---

<sup>1</sup> Conform RED2-Annex IX-A. In deze energierichtlijn is aangegeven dat een brandstof bestempeld wordt als een geavanceerde biobrandstof als deze is geproduceerd van een grondstof die is opgenomen in de lijst met afval- en reststromen die in annex IX-A van die richtlijn staat vermeld.

Omdat deze technologieën nog in de kinderschoenen staan, moet daarnaast onderzocht worden welke andere conversieroutes voor Nederland kunnen bijdragen aan emissiereductie op zowel de korte als de langere termijn. Een voorbeeld daarvan is mineralisatie voor toepassingen in cement en beton.

### **Non-ferro metalen**

Dit deelprogramma focust op kringloopsluiting met betrekking tot de non-ferro metalen. Dat zijn metallische materialen waarvan ijzer niet de hoofdcomponent is. Legeringen met ijzer tot een percentage tot 50 procent ijzer vallen ook onder de non-ferro metalen. Uit het oogpunt van klimaatbeleid is recycling van non-ferrometalen gewenst omdat de meeste daarvan een grote energie-inhoud vertegenwoordigen, die bij recycling grotendeels behouden blijft. Recycling van materialen gebeurt in het algemeen echter niet alleen met het oogmerk broeikasgasemissies te reduceren, maar ook (of juist) om redenen van voorzieningszekerheid. Vanzelfsprekend speelt de verhouding tussen de prijs van de grondstoffen en die van CO<sub>2</sub>-emissie daarbij ook een rol.

De innovatieopgaven in dit deelprogramma hebben betrekking op ontwerp voor hergebruik en recycling, systeemanalyse, scheidings- en verwerkingstechnologie, infrastructuur en logistiek en institutionele condities.

### **CCS**

CO<sub>2</sub>-opslag is voor een aantal processen in de industrie de snelste manier om op korte termijn significante CO<sub>2</sub>-reducties te realiseren. De maatschappij koopt er tijd mee om te investeren in nieuwe ontwikkelingen zoals elektrificatie en bijbehorende energievoorziening. Vanwege efficiëntie en technische haalbaarheid op de korte termijn wordt ingezet op CCS bij CO<sub>2</sub>-puntbronnen van grote omvang zoals industriële installaties en afvalverbrandingsinstallaties. Dit deelprogramma heeft als doel de realisatie van minimaal één grootschalig CCS-project (2-4 Mton CO<sub>2</sub>/jr) in de periode 2023-2025 met afvang van CO<sub>2</sub> in de industrie en opslag in een leeg aardgasveld onder de Noordzee. De innovatieopgaven zijn hoofdzakelijk gericht op het mogelijk maken van dit project en op kostenreductie van met name de CO<sub>2</sub>-afvangtechnologie. De technologieontwikkeling op het vlak van CO<sub>2</sub>-afvang en transport van CO<sub>2</sub> is ook relevant voor CCU, het deelprogramma dat eerder al is beschreven. Ook CO<sub>2</sub>-afvang voor het realiseren van BECCS (Bio Energy with CCS) en DAC (Direct Air Capture) zijn onderdeel van dit deelprogramma.

### **Systeemstudies**

Het spreekt voor zich dat geen van de hierboven genoemde deelprogramma's op zichzelf de klimaatdoelstellingen zal realiseren. Voor de verduurzaming van de industrie zal een combinatie van technologische routes nodig zijn en de verhouding tussen de bijdragen zal in de tijd veranderen. Een belangrijke notie hierbij is dat alle voorgestelde maatregelen en innovaties ook nadelige effecten hebben. "Niets is voor niets." Om goede keuzes te kunnen maken voor de innovaties en bijbehorende offers/kosten voor de verschillende termijnen is het van belang gedegen systeemstudies uit te voeren die naast CO<sub>2</sub>-emissiereductiepotentieel ook kosten, grondstoffengebruik, landbeslag, zeegebruik, biodiversiteitseffecten, gezondheidsrisico's en welvaartseffecten meenemen. Sommige daarvan zullen, afhankelijk van maatschappelijke factoren, als randvoorwaardelijk gesteld worden. Er moet ook rekening mee gehouden worden dat zowel de maatschappelijke inzichten als de verwachte technologische haalbaarheid in de tijd kunnen veranderen. Daarom is het belangrijk dat er een begin gemaakt wordt met gedegen systeemstudies. Zulke systeemstudies zijn deelprogramma-overstijgend en maken deel uit van dit MMIP. Op analoge wijze zijn er MMIP-overstijgende systeemstudies nodig.

## 1.2 Innovatie-inspanningen 2020-2023

Onderstaande tabel vat de in dit MMIP voorgestelde innovatie-activiteiten samen. Per deelprogramma wordt aangegeven hoeveel inspanningen voorgesteld worden bij lagere TRL's (1-6) en bij hogere TRL's (7-9).

Financiering MMIP 6, 2020-2023	TRL 1-6 M€	TRL 7-9 M€	Flankerend* M€	Totale kosten M€
<b>Deelprogramma</b>				
Circulaire Kunststoffen	132	405	23	560
Biomassa als grondstof voor producten en transportbrandstoffen	240	530	25	795
CCU	35	275	3,5	313,5
Circulaire non-ferro metalen	16,5		5	21,5
CCS	24	1030	6	1060
<b>Overkoepelend onderzoek (MMIP 6/7/8)</b>				
Systeemanalyses industrie overkoepelend			3	3

\* Systeemanalyses, organisatorische innovaties, implementatie gerelateerd onderzoek

Het aandeel publieke financiering bedraagt voor de lage TRL (1-6) gemiddeld circa. 50%, aangezien het merendeel van het onderzoek zich rond TRL 4-6 bevindt. Voor demonstratie en implementatie is het lastig om een aandeel publieke financiering te benoemen, omdat dit sterk afhangt van de keuzes die in beleid gemaakt worden ten aanzien van wet- en regelgeving en instrumentering. Financiering kan plaatsvinden in de vorm van steun voor demonstratieprojecten, maar ook bijvoorbeeld in de vorm van afdekking van operationele kosten via SDE++. Daarnaast bepaalt de marktvraag sterk de mate waarin ondernemers behoefte hebben aan risico-afdekking. Voor biobrandstoffen is die marktvraag sterk, vanwege de jaarverplichting in de RED en de SDE++ die in voorbereiding is voor geavanceerde brandstoffen, terwijl de marktvraag voor gerecyclede en biobased materialen niet gestimuleerd wordt met de huidige incentives vanuit beleid.

## 1.3 Vernieuwde programmering

Het huidige instrumentarium om innovaties te ondersteunen is sterk versnipperd. Hoewel de instrumenten ieder afzonderlijk vaak een prima stimulans vormen, kent de huidige situatie ook een belangrijk nadeel:

De MMIPs moeten meer programmatisch dan projectmatig te werk kunnen gaan en (snelle) zeggenschap hebben over de middelen voor fundamenteel en toegepast onderzoek. Het verdient daarom aanbeveling om de instrumentarium te ontwikkelen dat dit soort programmatische sturen mogelijk maakt voor de TRL's 1-6. De investeringen in pilots en demo's in de procesindustrie (TRL 7-9) zijn van een veel grotere orde dan bij de lagere TRL's. Daarnaast is de verhouding tussen private en publieke financiering ook heel anders en vaak maatwerk. Er is voor die fase dan ook ander instrumentarium nodig. In deze fase moet ook vraagstelling aan fundamenteel en/of toegepast onderzoek mogelijk zijn. Dit kan middels reserveringen in het TRL1-6 programma of reserveringen in de budgetten voor de pilots en demo's zelf.

Naast gewenste goede samenwerking tussen de belangrijke (biobased) chemieclusters in Nederland is het van belang vol op samenwerking met Vlaanderen en NRW in te zetten voor innovatieprogramma's. Dit gebeurt in de Trilaterale Strategie voor Chemie. Anderzijds wordt er binnen het BIG-Cluster initiatief 5 jaar samengewerkt op het gebied van biobased economy (bioaromaten, C1-chemie, advanced biobrandstoffen). Mogelijkerwijs kan dit worden gecombineerd met de Trilaterale Strategie.

## 2 Missie C voor Industrie

### 2.1 Achtergrond

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

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

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

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

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

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

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

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



Missie C. In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80 procent circulair. In 2030 worden in Nederland 50 procent minder primaire grondstoffen verbruikt en zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en de afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt, elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geëffectueerd, CCS wordt kosteneffectief ingezet, duurzame waterstofproductie is op weg naar implementatie en biograndstoffen worden gezien als de standaard.

**C**

In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80% circulair

In 2030:

- worden 50% minder primaire grondstoffen verbruikt;
- zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent;
- is verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300°C bereikt;
- zijn elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geëffectueerd;
- wordt CCS kosteneffectief ingezet;
- is duurzame waterstofproductie op weg naar implementatie;
- worden biograndstoffen gezien als standaard.

**6**

**Sluiting van industriële kringlopen**

- Circulaire grondstoffen en producten
- Biobased grondstoffen en producten
- Ontwerp en inbedding van nieuwe circulaire ketens
- Toepassing CCS en maatschappelijke acceptatie

**7**

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

- Warmtehergebruik, -opwaarding en -opslag
- Diepe en ultradiepe geothermie voor industrie
- Toepassing klimaatneutrale brandstoffen
- Systemconcepten voor warme en koude
- Maximalisering van proces-efficiency

**8**

**Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen**

- Productie waterstof, moleculen en innovatieve hernieuwbare brandstoffen
- Elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen
- Flexibilisering en digitalisering
- Radicaal vernieuwde processen
- Maatschappelijke implicaties van industriële elektrificatie

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

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

In paragraaf 2.2 wordt de visie die ten grondslag ligt aan missie C besproken. De scope en samenhang van de MMIP's en het 'enabling' programmadeel Systeemanalyse en –integratie Industrie wordt behandeld in paragraaf 2.3 inclusief de samenwerking tussen de MMP's. Tevens wordt daar ingegaan op de Make or buy besluitvorming. De MVI-aspecten komen in 2.4 aan de orde, en de algemene randvoorwaarden, die van belang zijn bij de uitvoering en het slagen van de innovatieprogramma's in paragraaf 2.5. Specifieke aspecten per MMIP worden in de MMIP-hoofdstukken verder uitgewerkt. De doorsnijdende thema's HCA en Digitalisering vindt u respectievelijk in de paragrafen 2.6 en 2.7. De voorziene samenwerking met de KIA's van het topsectorenbeleid, regionale en internationale programma's komen in paragraaf 2.8 aan de orde. In 2.9 wordt valorisatie en marktcreatie behandeld. Paragraaf 2.10 geeft de totaal benodigde financiering voor de drie MMIP's en tot slot in paragraaf 2.11 de gewenste aanpak op het gebied van monitoring en evaluatie.

## 2.2 Visie

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

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

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

Er moeten nieuwe processen ontwikkeld en ketens gebouwd worden op basis van circulariteit en klimaatneutraliteit, zodat broeikasgasemissies vermeden worden. Uit reststromen, restgassen, CO<sub>2</sub> uit de lucht en biomassa worden grondstoffen voor onder andere de chemie en brandstof voor de lucht- of zeevaart gemaakt. Fabrieken gebruiken elektriciteit, geothermie, groen gas en waterstof voor hun energiebehoefte. Daarbij helpt de industrie om de schommelingen in elektriciteitsproductie van zon- en windparken op te vangen. Restwarmte wordt hergebruikt in de industrie of benut voor het verwarmen van woonwijken en kassen. Hierdoor, en met behulp van vergaande digitalisering, worden waardeketens en productiemethoden fundamenteel veranderd: duurzame producten komen uit duurzame processen. Bovendien levert de industrie flexibiliteit voor een duurzaam, stabiel en betrouwbaar energiesysteem, zowel voor elektriciteit als voor warmte, met een minimale impact op de leefomgeving. Voor de afvalsector is de opgave om zoveel mogelijk waarde uit afval te genereren, waarbij reststoffen grondstoffen worden en CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt vermeden.

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

## 2.3 Samenhang tussen de MMIP's

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

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

MMIP 6 richt zich met name op innovaties in industriële ketens waarbij ook reststromen worden meegenomen. Daarbij speelt recycling van materialen en de inzet van biograndstoffen naar hoogwaardige producten een belangrijke rol. De transitie naar circulair grondstoffengebruik zal richting 2030 nog vooral via hergebruik van afval-, materiaal- en productstromen en restgassen verlopen. Ook implementatieondersteuning, efficiencyverhoging van CCS en hergebruik van CO/CO<sub>2</sub>

is onderdeel van dit programma. Waar nieuwe koolstof nodig is wordt biomassa als hoogwaardige grondstof ingezet of gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub> uit de lucht.

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

MMIP 8 heeft een meer lange termijn karakter en richt zich op maximale elektrificatie (met gebruik van duurzame elektriciteit) en radicaal vernieuwde processen. Waar voor 2030 vooral incrementele stappen worden gezet die bestaande processen duurzamer maken, verwachten we richting 2050 vergaande proces- en productvernieuwing gericht op verduurzaming. De transitie zal steeds meer gericht zijn op grondige verandering of vernieuwing van de integrale waardeketens met nieuwe productieprocessen, hergebruik van onderdelen en producten, en het creëren van nieuwe materialen en producten. Deze aanpak wordt zowel in MMIP 6 als 8 teruggevonden.

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

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

### 2.3.1 Systeemanalyse en -integratie industrie

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

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

Kenmerk van de benadering is circulariteit van het nieuwe industriële systeem; de toekomstige inrichting daarvan is onzeker en vereist kennisontwikkeling door een (holistische) systeembenadering waarbij volledig rekening wordt gehouden met de dynamiek en complexiteit van industriële

productiesystemen wereldwijd en waarin de specifieke comparatieve voordelen van Nederland en Noordwest-Europa tot uitdrukking moeten komen.

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

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

### 2.3.2 MMIP 6. Sluiting van industriële ketens.

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

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

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

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

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

De huidige praktijk moet omgebouwd worden naar een systeem met maximale toepassing van circulaire warmte – het opwaarderen van restwarmte in plaats van emitteren naar het milieu. Tot 2030 richt innovatie zich op het versneld beschikbaar krijgen van technologie voor temperaturen tot ongeveer 300°C, zoals warmtepompen, door standaardisatie, modularisatie en ontwikkeling van projectmatige aanpak voor ontwerp en implementatie. Tegelijkertijd wordt technologie ontwikkeld die na 2030 in het hoogste temperatuursegment voor een omslag zorgt. Daarnaast wordt kennis opgebouwd voor optimale warmtebenutting in het systeem door het wegnemen van niet-technologische barrières. Er zijn vijf deelprogramma's:

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

### 2.3.4 MMIP 8. Maximale elektrificatie en radicaal vernieuwde processen.

Dit programma is gericht op de ontwikkeling van kennis en kosteneffectieve innovaties voor volledig klimaatneutrale productieprocessen in 2050, optimaal geëlektrificeerd en volledig geïntegreerd in het duurzame energiesysteem. Industriële processen worden waar mogelijk elektrisch aangedreven, maken gebruik van klimaatneutrale (circulaire) grondstoffen en vervullen een belangrijke rol bij de levering klimaatneutrale secundaire grondstoffen, energiedragers, eindproducten, flexibiliteit en energieopslag. In 2030 is de industrie in staat het variabele vermogen aan duurzame elektriciteit volledig op te nemen.

Uitdagingen zijn kostenreductie en opschaling elektrische waterstofproductie en de ontwikkeling van klimaatneutrale brandstoffen en moleculen primair op basis van elektrochemisch conversie (in samenwerking met MMIP 6 en 11). Ontwikkeling van elektrische apparaten en elektrisch aangedreven processen vergroten de mogelijkheden voor elektrificatie. Combinatie met digitalisering biedt daarnaast richting 2050 kansen voor decentrale productieprocessen. Hiervoor is nieuwe kennis over veiligheid en proces control nodig. Parallel wordt onderzoek gedaan naar maatschappelijke en systeemimplicaties van industriële elektrificatie en wordt nadrukkelijk gestuurd op radicale procesvernieuwing en disruptieve innovaties die na 2030 het verschil moeten gaan maken. Er zijn vier deelprogramma's:

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

### 2.3.5 Make or buy

Een onderbouwde make/buy beslissing kan alleen genomen worden voor concrete innovaties, die op het niveau van producten beschreven zijn. Deze MMIP's zijn allereerst uitgewerkt vanuit een maatschappelijke vraag (de Missie) naar innovatieopgaven en vanaf daar naar activiteiten. Voor alle innovatieopgaven is een analyse gemaakt, om de prioriteiten te bepalen. Paragraaf 2.12 beschrijft hoe de prioritering tot stand gekomen is.

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

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

Binnen missiegedreven innovatiebeleid is koppeling van de vraag- en aanbodzijden van het innovatie-ecosysteem essentieel. Als beiden goed op elkaar aansluiten, zijn de voorwaarden optimaal voor het genereren en toepassen van innovaties die maatschappelijke problemen oplossen, en werkgelegenheid en economische groei realiseren. Dit uitgangspunt is gehanteerd bij het opstellen en uitwerken van de MMIP's. Ook in de uitvoering van de MMIP's is voor het halen van de doelstellingen

samenwerking in de gouden driehoek tussen bedrijven (eindgebruikers, maakindustrie, ingenieursbureaus, kennisinstellingen en overheid c.q. overheden van essentieel belang. Dit moet gebeuren vanuit het onderschrijven van de gezamenlijke doelen van de programma's. Bij een complexe opgave als de uitvoering van de MMIP's voor het behalen van Missie C zijn er altijd gebieden van overlap en afhankelijkheid tussen programma's en gezamenlijke issues.

Onderstaand een eerste overzicht van de gebieden waar dit speelt.

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

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

## 2.4 Missie C en Maatschappelijk Verantwoord Innoveren

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

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

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

### **Algocratie**

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

### **Industriële symbiose**

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

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

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

transities. Voorzetting van NWO-programma's MARET en Transities en Gedrag zijn daarvoor een belangrijk middel.

### **Maatschappelijke Transformatie**

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

## **2.5 Missie C en HCA**

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

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

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

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



meerwaarde samenwerking in netwerken rondom dergelijke fieldlabs kan hebben voor de eigen innovatie en productontwikkeling. De MMIP's zullen in de uitvoering actief zulke fieldlabs opzetten en exploiteren.

## 2.6 Missie C en Digitalisering

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

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

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

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

Overzicht technologische thema's binnen HTSM, ondersteunt door NWO-calls, Smart Industry programma en onderzoek binnen universiteiten, CRO's en industrie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artificial intelligence (incl. machine and deep learning);</li> <li>• Encryptie technologie;</li> <li>• Digitale veiligheid;</li> <li>• Blockchain of Distributed Ledger Technology (DLT), federated learning</li> <li>• Data storage en industrial dataspace</li> <li>• Sensoren</li> <li>• Imaging technologies inc AR en VR</li> <li>• Robotica</li> <li>• Cyberphysical and embedded systems</li> <li>• Digital twins</li> </ul>

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

Pro van digitalisatie inzet in de industrie	Con van digitalisatie inzet in de industrie
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Snelle Return on investment</li> <li>▪ Breed inzetbaar over sectoren heen</li> <li>▪ Grotere Efficiëntie (Minder waste. Hogere yield, betere productkwaliteit, betere tracibility) Smart Manufacturing Technologies kunnen de energie-efficiëntie met 25% verbeteren en de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nieuwe skills nodig: computational thinking, cybersecurity, digitale human machine interactie, etc.</li> <li>▪ Acceptatie van digitalisatie is soms laag bij management en operators</li> <li>▪ Er is een maatschappelijke discussie over inzet van AI omdat men vreest voor verminderde</li> </ul>

Pro van digitalisatie inzet in de industrie	Con van digitalisatie inzet in de industrie
operationele efficiëntie met 20% verhogen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relatief Lage investeringskosten</li> <li>▪ Nieuw businessmodellen als servitization worden mogelijk door digitalisatie</li> <li>▪ Exportmogelijkheden van technologie</li> <li>▪ Reductie van energieverbruik met 8-30% binnen bestaande procesinstallaties.</li> </ul>	accountability, transparantie en bias in de (historische) data. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strategie over data ownership is nog niet duidelijk en kan in de toekomst problemen veroorzaken</li> <li>▪ Digitaal Veiligheidsrisico neemt toe en groeiende afhankelijkheid van communicatiediensten.</li> <li>▪ Standaards en referentiearchitecturen zijn nog in de maak. Te vroege implementatie van applicaties kan leiden tot vendor lock-in of hoge kosten bij overgang naar nieuw platform</li> </ul>

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

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

## 2.7 Randvoorwaarden

### 2.7.1 Ondersteunende infrastructuur

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

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

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

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

## 2.7.2 Honoreren langdurige koolstofvastlegging in producten

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

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

## 2.7.3 Meerjarige financiering

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

## 2.8 Samenwerking en afstemming

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

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

MMIP 6: Sluiting van industriële ketens

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

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

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

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

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

### Andere KIA's

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

- KIA CE. Afstemming via de trekker van MMIP 6 en input vanuit de andere MMIP's.
- KIA Sleuteltechnologieën en sleutelmethodeologieën. In het overzicht behorend bij deze KIA is aangegeven welke MJP voorstellen interesse hebben vanuit Missie C. Het gaat met name over nieuwe materialen, digitalisering en nieuwe procestechologie inclusief elektrochemie. De TKI is vertegenwoordigd in het kernteam van deze KIA. Nader overleg over verdere invulling en afstemming moet nog plaatsvinden. De sleutelmethodeologieën (Key Enabling Methodologies KEM 's) gaan over sociaal maatschappelijke innovatie en de ontwikkeling van kennis op dit gebied. De activiteiten aldaar sluiten heel goed aan bij de acties genoemd onder 2.4 Missie C en MVI.
- KIA 6 Topsector specifiek, in ieder geval onderdeel Mobiliteit.

## **Regio's**

In het Klimaatakkoord is voor de realisatie van de Klimaatdoelen een belangrijke rol weggelegd voor de voor de vijf grote industriële clusters en de twaalf grootste CO2-emitters. Dit zijn natuurlijk ook belangrijke partijen voor de innovatieagenda die een substantiële rol zullen moeten spelen in de valorisatie van de resultaten. Met alle clusters is afstemming geweest over de invulling van de MMIP's. In de MMIP- beschrijvingen wordt nader ingegaan op de te behalen synergie en de specifieke onderwerpen. Ons streven is een versterking van de gezamenlijk aanpak bij de uitvoering.

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

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

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

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



## **Internationale verankering en samenwerking**

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

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

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

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

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

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

## **2.9 Valorisatie en marktcreatie**

### **2.9.1 Samenhangende programmering van valorisatie**

Bij valorisatie zijn de volgende activiteiten te onderscheiden:

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

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

## 2.9.2 Samenhangende programmering van marktcreatie

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

## 2.9.3 Rol van ROM's en regio

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

## 2.10 Monitoring en evaluatie

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

In de breedte is er behoefte aan een duidelijke monitoring en kwantificering van de voortgang, niet alleen op het niveau van technologieën, deelprogramma's, en algemene voortgang van de MMIP's maar ook op het niveau van de Missie en de doorsnijdende thema's. Toetsing aan voortschrijdend inzicht gebaseerd op de resultaten van de systeemanalyses, systeemintegratiestudies, innovatieanalyses en MVI inzichten is gewenst. Criteria daarvoor dienen verder te worden ontwikkeld.

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

- de gemiddeld bereikte TRL en SRL verandering per MMIP
- het geheel van de actuele geprognoseerde ecofootprint reductie per MMIP

- het geheel van de actuele geprognoseerde reductie aan behoefte aan primaire grondstoffen per MMIP
- het geheel van de actuele geprognoseerde CO<sub>2</sub>-emissiereductie per MMIP
- het geheel van de verwachte percentuele kostenreductie (relevant voor m.n. de private partijen) per MMIP
- MMIP-specifieke indicatoren

# Bijlagen

## 2.11 Procesbeschrijving

### 2.11.1 Proces

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

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

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

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

### 2.11.2 Review

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

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

## 2.12 Criteria voor prioriteren innovatieopgaven

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

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

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

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

In het geval van MMIP6 is de prioritering gedaan binnen de deelprogramma's zelf (en door de betrokken experts van het deelprogramma). Op het niveau van de innovatieopgaven is de prioritering uitsluitend aangeven met kleur.

## 2.13 Financieringscategorisering

Om de financieringsbehoefte in kaart te brengen is er gebruik gemaakt van een categorisering die gelijk is tussen de MMIP's 7-8. De tabel hieronder beschrijft de categorieën.

In het geval van MMIP6 is vanwege de grote complexiteit en de veelheid aan betrokken partners in het innovatieve proces geen onderscheid gemaakt tussen typen financieringen en is deze tabel dus effectief niet gebruikt. Toepassing van de methodiek zou een enorme veelheid aan codes, die bovendien nauwelijks significant verschil zouden laten zien, aan de tabellen toegevoegd hebben.

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

## 3 MMIP6: Sluiting van industriële ketens

### 3.1 Inleiding

De vijf sectortafels van het Klimaatakkoord hebben breed gedragen afspraken gemaakt over concrete doelen en oplossingsrichtingen om de maatschappelijke opgave aan te pakken. Op basis hiervan zijn vijf missies voor 2050 en bijbehorende tussendoelen voor 2030 geformuleerd. De sectortafel Industrie heeft als missie geformuleerd:

Om de missie te kunnen realiseren zullen drie MMIP's worden opgesteld (Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma), die de benodigde kennis- en innovatie-inzet beschrijven:

**Missie C. In 2050 zijn grondstoffen, producten en processen in de industrie netto klimaatneutraal en voor tenminste 80 procent circulair.** In 2030 worden in Nederland 50 procent minder primaire grondstoffen verbruikt en zijn de broeikasgasemissies van productieprocessen en de afvalsector verminderd tot circa 36 Mton CO<sub>2</sub>-equivalent. Verduurzaming van het industriële warmtesysteem tot 300 °C is bereikt, elektrificatie en CO/CO<sub>2</sub> hergebruik geeffectueerd, CCS wordt kosteneffectief ingezet, duurzame waterstofproductie is op weg naar implementatie en biograndstoffen worden gezien als de standaard.

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

Dit document beschrijft MMIP 6, waarvan de missie als volgt is gedefinieerd:

**Missie MMIP 6: Sluiting van industriële ketens.** In 2050 zijn waardeketens circulair en duurzaam\*, zoals geformuleerd in het grondstoffenakkoord en uitgewerkt in de vijf transitieagenda's circulaire economie. In deze ketens worden grondstoffen hoogwaardig benut, wordt geen afval geproduceerd en is alle gebruikte energie duurzaam opgewekt. In 2030 is het verbruik van primaire grondstoffen met 50 procent verminderd, een aantal processen voor de productie van hoogwaardige onderscheidende producten en klimaatneutrale grond- en brandstoffen op basis van biobased grondstof opgeschaald, en is CCS met succes geïmplementeerd op processen waarvoor op korte termijn geen klimaatneutraal alternatief beschikbaar is.

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

MMIP 6 is onderverdeeld in vijf deelprogramma's. Vier deelprogramma's zijn gericht op sluiting van industriële grondstof/materiaalketens in de industrie, het vijfde deelprogramma focust op het op korte termijn realiseren van forse CO<sub>2</sub>-reductie middels CCS (Carbon Capture Storage). Het betreft de volgende deelprogramma's:

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

<sup>2</sup> In deze MMIP wordt de internationale bunkering (Schiphol en Rotterdam) niet meegenomen in de getallen, dit is ongeveer 750 PJ/a.

## 3.2 Visie op sluiting van industriële ketens, samenhang tussen de deelprogramma's

Een zoveel mogelijk circulaire economie in 2050 is het streven, maar wat bedoelen we hier mee? Bij circulaire economie gaat het om een fundamenteel andere omgang met grondstoffen, het voorkomen dat emissies en afval in het milieu terecht komen en, daar waar de natuur ingezet wordt als productiemiddel, regeneratieve omgang met het ecosysteem dat de Aarde ons biedt. Grondstoffefficiëntie, het maken van afwegingen op basis van de ecofootprint van ketens en het creëren van bijbehorende businessmodellen staan in dit hernieuwde economische ecosysteem centraal. Deze opgave vraagt om veranderingen in brede zin. Zowel technische als sociale en systeeminnovaties zullen moeten worden doorgevoerd.

Dit MMIP is een onderdeel van het klimaatakkoord, dat als hoofddoel het realiseren van CO<sub>2</sub>-emissiereductie heeft, om zodoende klimaatverandering tegen te gaan. Dat is ook de focus voor wat betreft dit MMIP, in de wetenschap dat circulaire economie een breder concept is. De KIA Circulaire Economie beschrijft de bredere innovatieopgaven voor grondstoffenefficiëntie en ecofootprintreductie in het algemeen.

In 2050 heeft Nederland de emissie van broeikasgassen met 90% gereduceerd ten opzichte van 1990. Het materiaalgebruik is sterk teruggebracht door beter ontwerp van producten en processen, het repareren en hergebruiken van producten en de recycling. Voorwaarde voor circulair ontwerp is dat producten en processen ook veilig zijn voor mens en milieu (safe and circular by design). Ook nieuwe businessmodellen zoals het delen van auto's, het leasen van witgoed en het afnemen van een dienst in plaats van een product (bijvoorbeeld verlichting) bieden kansen tot vergaande reductie van materiaalgebruik en kringloopsluiting.

Vroeger, nu en in de toekomst is koolstof een belangrijke grondstof. Het huidige Nederlandse koolstofgebruik bedraagt circa 50 miljoen ton, in de vorm van olie, gas, kolen en biologische grondstoffen. Een groot gedeelte van de in Nederland gebruikte koolstof eindigt, doordat we "afval" in Nederland verbranden in de atmosfeer als CO<sub>2</sub>. In 2050 zal het mogelijk zijn om elektriciteit op te wekken uit alternatieve en hernieuwbare bronnen, zoals zonne- en windenergie. Ook in warmte voor woningen en processen kan op deze wijze worden voorzien, naast bijvoorbeeld warmte uit geothermie. Het grootste deel van het wegverkeer zal elektrisch aangedreven zijn. Echter, voor materialen blijft er behoefte aan een koolstofbron bestaan, bijvoorbeeld voor het maken van kunststoffen, verven, medicijnen, cosmetica enzovoorts. Door maximaal in te zetten op grondstoffefficiëntie en recycling blijft koolstof langer in de materiaalketen. Het is van cruciaal belang dat in de toekomst sprake is van recycling die tot echte kringloopsluiting leidt (closed loop), hetgeen inhoudt dat materialen na recycling ook weer als (hoogwaardige) materialen kunnen worden ingezet. Op dit moment wordt maar 2% van de kunststoffen zo gerecycled, waardoor de behoefte aan nieuwe primaire grondstoffen onverminderd hoog blijft.

Ook in het geval van niet-koolstofhoudende materialen valt CO<sub>2</sub>-emissiereductiewinst te behalen door die in de kringloop te houden en niet met groot energiegebruik telkens opnieuw te maken uit primaire grondstoffen. De deelprogramma's Circulaire kunststoffen en Circulaire non-ferro metalen richten zich op het in kringloop houden van deze materialen.

In 2050 zijn nog steeds koolstofbronnen nodig ofwel om producten met specifieke unieke eigenschappen te maken, ofwel omdat 100% behoud van koolstof niet realiseerbaar is uit oogpunt van technologie, kosten of energieverbruik. Hoe groot dit percentage is zal nader moeten worden onderzocht.

Deze koolstof kan uit drie bronnen komen:

1. Biobased grondstof
2. CO<sub>2</sub> uit processen en uit de atmosfeer

3. Fossiele grondstoffen, mits de inzet niet leidt tot CO<sub>2</sub>-emissies.  
Er moet dan sprake zijn van een gesloten materialenkringloop en in de keten vrijkomende CO<sub>2</sub>-emissies dienen afgevangen en opgeslagen te worden (CCS).

De afweging tussen deze bronnen zal steeds gebaseerd moeten zijn op een vergelijking op basis van grondstofefficiëntie, de ecofootprint **over de hele keten** en de economische waarde die het creëert. Dat wil zeggen dat al vroeg in het ontwerpproces duurzaamheid en veiligheid voor mens en milieu moet worden meegenomen (safe and circular by design).

De deelprogramma's Biobased grondstof als grondstof voor industrie en transportbrandstoffen, en CCU (CO<sub>2</sub> als grondstof) beschrijven de innovatieopgaven die nodig zijn om deze routes te ontwikkelen. Tot slot beschrijft het deelprogramma CCS het ontwikkelen van kennis en innovaties die nodig zijn voor het versneld en kosteneffectief inzetten van CCS.

Net als bij alle andere processen geldt dat bij de inzet van biobased grondstof en die van CO<sub>2</sub> als grondstof duurzaamheid een randvoorwaarde is. Biobased grondstoffen hebben te maken met onzekerheid over de duurzame beschikbaarheid van op duurzame wijze geproduceerde biomassa, zee/landgebruik en biodiversiteit en bij CCU gaat het vooral om de beschikbaarheid van duurzame elektriciteit en waterstof. Voor chemische recycling geldt nagenoeg hetzelfde. De nieuwe routes bieden echter belangrijke kansen en zijn onmisbaar in de transitie. Op dit moment moeten deze nieuwe routes concurreren met fossiele routes die al vergaand geoptimaliseerd zijn, dus er is wel ruimte nodig om niet meteen de eerste demo af te rekenen op een initieel wellicht wat slechtere footprint en/of economische haalbaarheid dan de referentie. Na een aanlooperperiode moet de ecofootprint over de hele keten – van herkomst tot end of life- beter (kleiner) zijn dan die van de huidige fossiele ketens en zullen deze routes ook kosteneffectief moeten zijn.

Het ecofootprintconcept maakt ook inzichtelijk dat er geen oplossingen zijn die louter positieve effecten hebben. "Je krijgt niets voor niets". Elektrificatie is een van de belangrijke oplossingsrichtingen voor het tegengaan van klimaatverandering. De technieken om duurzame bronnen zoals zon en wind toe te passen leggen echter ook beslag op schaarse en kritieke grondstoffen, en inpassing van deze technologieën leidt tot ruimtebeslag en concurrerende claims op land en water. Een voorbeeld hiervan zijn de zonneweides, die ten koste kunnen gaan van landbouw voor bijvoorbeeld voedselproductie. Het zal in Nederland nog enkele decennia duren voordat we 100% elektriciteit uit hernieuwbare bronnen produceren. Tot die tijd leidt elektrificering indirect tot CO<sub>2</sub>-emissies, hetgeen een belangrijke factor is bij ontwikkelingen die veel elektriciteit vergen, zoals de productie van waterstof. Het is daarom van belang om ontwikkelingen niet alleen op CO<sub>2</sub>-reductie te beoordelen, maar ook op grondstofefficiëntie en de hele ecofootprint van nieuwe ketens. Hier zit een belangrijke rationale om plannen voor innovaties vegezeld te laten gaan van geavanceerde systeemanalyses, als onderdeel van deze KIA (MMIP).

CCU maakt deels gebruik van technologie die op korte termijn voor CCS wordt ontwikkeld (afvang, concentratie, transport), deze technologieontwikkeling staat beschreven in het deelprogramma CCS.

Het MMIP Sluiting van industriële ketens levert naar (grote) schatting een CO<sub>2</sub>-emissiereductie op 35 Mton per jaar in 2050, onderverdeeld naar:

- Circulaire kunststoffen: 4 Mton/jaar
- Circulaire non-ferro metalen: 1 Mton/jaar
- Biobased grondstof: Biobased grondstof: 12 Mton/jaar<sup>3</sup>, biotransportbrandstoffen: 7 Mton/jaar (telt mee bij CO<sub>2</sub>-emissiereductie in mobiliteit)
- CCU: 5 Mton/jaar
- CCS: 7 Mton/jaar

Volgens het IPCC-rapport van december 2018 zal het noodzakelijk zijn om negatieve emissies te realiseren om binnen het carbon budget voor 1,5 of 2 graden temperatuurstijging te blijven. De productie van biobased materialen voor langetermijntoepassingen en de combinatie van bio-energie productie met CO<sub>2</sub>-afvang en opslag zijn vormen van negatieve emissie (Bio Energy and Carbon

---

<sup>3</sup> Uitgaande van vervanging aardolie (190 PJ bulkchemicaliën en biotransportbrandstoffen)



Capture and Storage, BECCS). CO<sub>2</sub>-afvang wordt beschreven in het deelprogramma CCS, ook waar het gaat om afvang van CO<sub>2</sub> uit biogene bronnen. De benodigde bioraffinageconcepten in combinatie met bio-energieproductie zijn onderdeel van het deelprogramma biobased grondstof. Direct Air Capture in combinatie met CCS (of CCU) kan op de langere termijn ook bijdragen om negatieve emissies te bereiken.

### 3.3 Stand van zaken

Deze wordt beschreven in de deelprogramma's.

### 3.4 Randvoorwaarden/beleid

De randvoorwaarden zijn vaak onderwerp specifiek en zijn daarom beschreven in de deelprogramma's. Een paar generieke aandachtspunten die van belang zijn voor vrijwel alle deelprogramma's (met uitzondering van CCS) staan hieronder beschreven.

#### 3.4.1 Emancipatie van regelgeving

In het kader van het circulaire economie beleid heeft de overheid in augustus 2018 de Taskforce Herijking Afvalstoffen ingesteld. Het doel voor deze taskforce is om advies uit te brengen hoe de belemmeringen weg te nemen die door overheden en bedrijven worden ervaren in de afvalwet- en regelgeving en de uitvoering daarvan, bij het streven naar een circulaire economie. In april 2019 heeft de taskforce een tussenrapport uitgebracht. Hierin constateert zij dat bedrijven en bevoegde gezagen blijven worstelen met het begrip afval en de term 'ontdoen'. De taken omtrent vergunningverlening, handhaving en toezicht zijn decentraal neergelegd bij 29 Omgevingsdiensten die te maken hebben met 12 provincies en 355 gemeenten die elk hun eigen invulling geven aan afvalbeleid en circulaire economie. Hierdoor ontstaan verschillen in interpretatie en omgang met de afvalwet- en regelgeving. Het tussenrapport beschrijft de belemmeringen in de huidige Europese en nationale regelgeving en in de uitvoering van die regelgeving.

Deze belemmeringen doen zich met name voor in de deelprogramma's Circulaire kunststoffen, Biomassa als grondstof voor de industrie en transportbrandstoffen en Circulaire non-ferrometalen. Specifiek voor inzet van biobased grondstoffen geldt dat niet alleen de afvalwetgeving relevant is, maar ook onder meer de meststoffenwetgeving, het besluit bodemkwaliteit en de vrijstellingsregeling plantenresten. Integrale afstemming tussen beleidsdepartementen is van belang. Generiek is dat lastig te realiseren, er dient meer ruimte voor maatwerk te komen.

De Taskforce Herijking Afvalstoffen zal in haar eindrapport conclusies en aanbevelingen formuleren voor de gesignaleerde belemmeringen. Ook voor het realiseren van het klimaatakkoord is het van belang dat deze belemmeringen voortvarend opgepakt gaan worden.

#### 3.4.2 Honoreren langdurige koolstofvastlegging in producten

Het huidige Nederlandse energie- en klimaatbeleid is gericht op het verminderen van binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissies ('uit de schoorsteen'). Internationale afspraken zijn hierop gebaseerd en landen worden afgerekend op emissies binnen de nationale grenzen. Producenten worden niet direct gestimuleerd om biobased grondstoffen voor chemie en materialen toe te passen via bijvoorbeeld het ETS-systeem, dat pas biogene CO<sub>2</sub>-emissiereductie beloont als de producten worden verbrand. Ook de inzet van recycalaat ter vervanging van virgin grondstoffen wordt niet gestimuleerd.

Daardoor gaat er geen prikkel uit van het ETS voor substitutie van fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen en/of recycalaat voor de productie van chemicaliën en materialen. Sturen op CO<sub>2</sub> alleen leidt dus niet per definitie tot gesloten koolstofkringen.

Omdat Nederland relatief veel materialen en producten exporteert, draagt de vervanging van fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen voor materialen en producten nauwelijks bij aan het halen van de Nederlandse klimaatdoelstellingen. Dat is alleen het geval voor het aandeel van producten dat

bijvoorbeeld in een AVI verbrand wordt. De benefits van grondstofverduurzaming komen daarmee niet terecht bij het bedrijfsleven dat hierin investeert. Bedrijven worden afgerekend op de CO<sub>2</sub>-emissies die ze zelf uitstoten, ze worden niet beloond voor de CO<sub>2</sub>-emissies die ze elders in de keten voorkomen.

Voor het tegengaan van klimaatverandering maakt het echter niet uit waar de CO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd. Veel bedrijven redeneren daarom vanuit effecten in de (vaak grensoverschrijdende) ketens, de mondiale voetafdruk. Ook de transitie naar een circulaire economie is gericht op de verduurzaming van internationale ketens. Deze spanning laat zien dat waar beleid vanuit een nationaal perspectief kosteneffectief is, dit suboptimaal kan zijn voor mondiale kostenreductie en investeringen in een circulaire economie kan ontmoedigen.

Er ontstaat een interessante paradox voor sturing, waarbij gezocht moet worden naar een relevante balans. Vanuit klimaatperspectief en de noodzaak om de emissies snel naar beneden te brengen kan de focus liggen op het zo snel mogelijk terugdringen van fossiele brandstoffen - de belangrijkste contributor aan klimaatverandering. Tegelijkertijd is er vanuit het perspectief van een circulaire economie de wens om grondstoffen zo lang mogelijk in het gebruiksdeel van de keten te houden, of via recycling weer zo snel mogelijk terug in de gebruiksketen te brengen. Inzet van biobased grondstoffen vanuit deze circulaire gedachte zorgt voor langdurige koolstofvastlegging en voor lagere energie input (met evt. bijbehorende lagere CO<sub>2</sub>-emissies als gevolg van vermeden energie input bij productie nieuwe grondstoffen. In de ontwikkeling naar een klimaatneutrale en circulaire economie zal de sturing op koolstofbehoud versus vermijden van fossiele CO<sub>2</sub>-emissies op een optimale manier moeten worden gebalanceerd. Het instrumentarium dat dit kan regelen zou prioriteit moeten geven in alle eindgebruikersmarkten naar de inzet van circulair koolstof.

*Er is behoefte aan een publiek-private overlegtafel die de mogelijkheden verkent en instrumentarium ontwikkelt voor instrumentarium dat koolstofvastlegging in producten honoreert.*

### 3.5 Valorisatie en marktcreatie

De verduurzaming van de industrie wordt pas realiteit als onderzoek uitmondt in innovaties die met succes worden geïmplementeerd. Valorisatie van kennis aan de aanbodzijde is hierbij net zo belangrijk als marktcreatie aan de vraagzijde.

#### *Valorisatie*

Valorisatie bouwt voort op activiteiten die afgelopen jaren door de topsectoren al in gang gezet zijn. Brede kennisverspreiding naar het MKB en de maatschappij vindt plaats via een aantal sporen:

- Communities of innovations. De topsector chemie kent drie van deze communities: ISPT (sustainable process technology), COAST (analytical science and technology) en NIOK/VIRAN (katalyse). De communities verenigen bedrijven en kennisinstellingen, ontwikkelen roadmaps en voeren publiek-private onderzoeksinitiatieven uit op hun vakgebied.
- Platform Biobased Circular Business. Een industrieel samenwerkingsverband, gefaciliteerd door het ministerie van EZK, met als doel het gezamenlijk verkennen en initiëren van nieuwe business en het opschalen daarvan op het snijvlak van de sectoren agrofood, chemie, papier en energie. Met werkgroepen op vlak van CCU, valorisatie van biomassa en duurzaam inkopen door bedrijven.
- Platform Duurzame Biobrandstoffen, een kennis- en innovatieplatform gericht op brede kennisverspreiding naar spelers in de markt en de maatschappij.
- CATO (CO<sub>2</sub> Afvang, Transport en Opslag). Sinds 2015 onderhoudt het CATO-programmabureau het netwerk en verzorgt het kennisuitwisseling van projecten die via het topsectorenbeleid worden ondersteund. Het netwerk bestaat uit bedrijven uit de energie- en industriesector, onderzoeksinstellingen en consultants.
- MIT-regeling, de MKB-innovatiestimulering Regio en Topsectoren. MKB-bedrijven kunnen ondersteuning krijgen voor het doen van haalbaarheidsprojecten, R&D en kunnen kennisvouchers aanvragen. Ook is er ruimte voor netwerkactiviteiten en de inzet van innovatiemakelaars. De MIT-regeling beoogt ook projecten van het MKB te laten aansluiten bij de innovatie-agenda's van de topsectoren. Valorisatie via MIT zou nog verder versterkt

kunnen worden door het versterken van de samenwerking tussen topsectoren, RVO en regio's bij het beoordelen van voorstellen en het uitwisselen van kennis hierover en het concretiseren van de innovatie-opgaven op specifiek de kansen voor MKB-bedrijven.

- Go Chem, het instrument voor chemische innovatie in het mkb, is ook beschikbaar voor biobased innovaties.
- Transfer intellectueel eigendom, o.a. voorlichting via OCNL.

Voor missiegedreven innovatiebeleid is een bredere aanpak van valorisatie nodig dan alleen het bevorderen van deelname van (MKB) bedrijven aan de verschillende onderzoeksconsortia/PPP's. Voor een succesvolle aanpak is het belangrijk om te komen tot afstemming en waar mogelijk een samenhangende programmering van activiteiten en middelen tussen de topsectoren, RVO en de regio's/ROM's<sup>4</sup>, mede op basis van de volgende uitgangspunten:

1. Deze samenwerking versterkt de toegang tot het MKB (en MKB-netwerken) en bevordert dat de creativiteit en de ondernemerszin van MKB-bedrijven en (potentiële) starters optimaal kan worden gemobiliseerd voor de missies en voor de doorontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën.
2. De provincies en de ROM's beschikken (vaak complementair aan de instrumenten van het Rijk) over kennis en instrumenten t.b.v. financiering, business development, cluster- en ecosysteemontwikkeling en (internationale) marktvalidatie.
3. Last but not least biedt deze samenwerking de mogelijkheid om voorzieningen, initiatieven en instrumenten die in de regio's voorhanden zijn optimaal te benutten zonder het wiel opnieuw uit te hoeven vinden. Door te werken aan synergie en complementariteit bereiken we meer effectiviteit, efficiency en transparantie.

De inschatting is dat jaarlijks circa 250 mln.<sup>5</sup> aan regionale middelen wordt ingezet.

De samenwerking kan praktisch vorm krijgen langs vijf lijnen:

4. Het bieden van inzicht
5. Makelen en schakelen
6. Ontwikkeling van nieuwe producten, diensten en projecten
7. Alignment van instrumenten en middelen
8. Het bouwen van gezamenlijke proposities

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

---

<sup>4</sup> Regio's/ROM's is inclusief de regionale innovatiestructuren en vergelijkbare regionale organisaties gericht op business development en financiering in het geval van regio's zonder ROM.

<sup>5</sup> Rathenau-instituut/TWIN-cijfers

### *Marktcreatie*

De overheid zet in op marktcreatie via een aantal sporen. Stimulering van duurzaam inkopen en aanbesteden staat hoog op de agenda bij het inkoopbeleid (maatschappelijk verantwoord inkopen). Stimuleren van het aanbod van duurzame innovaties vindt ook plaats in de fase van marktintroductie, via het fiscale instrumentarium (SDE+, EIA, MIA/Vamil). ETS levert een financiële prikkel op, via RED wordt verduurzaming van transportbrandstoffen gestimuleerd. Daarnaast zet de overheid in op het wegnemen van knelpunten via loketten. Niettemin blijft de marktvraag naar duurzame innovaties achter, zoals in de paragraaf randvoorwaarden is geconstateerd. Hier is verdere actie nodig.

De ervaring leert dat als de klant van de kunststofproductiebedrijven er om vraagt, de toeleverende sector pas gaat bewegen. Stimulering van de klant om eisen te stellen aan de leverancier kan dus positief bijdragen aan de marktcreatie.

### 3.6 Samenwerking en samenhang met andere MMIP's

Onderstaand overzicht toont de belangrijkste samenhang met andere MMIP's. De samenhang heeft vooral betrekking op de inzet van biobased grondstof (MMIP's 4, 7, 9, 11 en 12) en op CCU (MMIP 8 voor elektrochemische conversie).

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

De duurzame productie van biobased grondstof is onderdeel van MMIP's 11 en 12 en zijn gespiegeld in de Landbouw, Water en Voedsel MMIP's. In deze MMIP's ligt het accent voor zowel de productie als de valorisatie van reststromen sterk op voedseltoepassingen. Bioraffinagetechnologie in brede zin maakt onderdeel uit van MMIP 6, raffinage specifiek voor zeewieren is onderdeel van MMIP 12. De omzetting van biobased grondstoffen in chemicaliën, materialen en transportbrandstoffen valt onder MMIP 6. De directe toepassing van biobrandstoffen voor mobiliteit behoort tot MMIP 9. De thermochemische conversie van biobased grondstof behoort ook tot MMIP 6. Toepassing van biowarmte kan onderdeel uitmaken van MMIP 7. En de toepassing van biowarmte in de gebouwde omgeving en in de glastuinbouw staat op de agenda van MMIP 4.

De inzet van elektriciteit voor conversie van CO en CO<sub>2</sub> is een CCU route die in MMIP 6 wordt beschreven. In MMIP 8 richt power to molecules zich op de productie van onder meer waterstof.

Alle deelprogramma's hebben een samenhang met MMIP 13, omdat voor deze deelprogramma's andere (eco) systemen en daarmee zeer grote wijzigingen in infrastructuur benodigd zullen zijn met grote implicaties voor de ruimtelijke inpassing. In MMIP 13 ligt de focus op de infrastructurele aanpassingen voor bijvoorbeeld het transport en de opslag van waterstof. Vanzelfsprekend zal bij de totstandkoming van nieuwe systemen tussen beide MMIP's afstemming moeten plaatsvinden. Overige infrastructurele aanpassingen zullen in deze MMIP worden beschreven. In MMIP13 worden ook integrale systeemstudies uitgevoerd. Deze zijn gericht op het integrale energiesysteem. Voor dit MMIP (6) moet in systeemstudied ook naar materialen worden gekeken.

## 4 Deelprogramma 1: Circulaire kunststoffen

### 4.1 Programmatische aanpak

#### 4.1.1 Introductie

De afgelopen 50 jaar is het gebruik van kunststoffen sterk toegenomen, wereldwijd is de toepassing zelfs met een factor 20 gestegen. De veelzijdige eigenschappen die kunststoffen bieden, zoals sterkte, barrière-eigenschappen, stijfheid, vormvastheid of juist flexibiliteit van vorm maken hen gewilde materialen. In combinatie met hun lichte gewicht dragen kunststoffen in vele toepassingen ook bij aan duurzaamheid en CO<sub>2</sub>-reductie in de waardeketen, bijvoorbeeld in verpakkingen of (lichte) onderdelen van transportmiddelen. Behalve deze voordelen brengt de grootschalige toepassing ook nadelen met zich mee, zoals de verspreiding van plastic zwerfvuil en microplastics, het beslag op grondstoffen en de CO<sub>2</sub>-emissies bij productie en afvalverwerking<sup>6</sup>.

In het deelprogramma circulaire kunststoffen ligt de focus op het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-emissies als gevolg van de productie en het gebruik van kunststoffen. De overige aspecten van circulair kunststoffengebruik zijn onderdeel van de KIA Circulaire Economie.

---

<sup>6</sup> Kunststoffen, Transitieagenda Circulaire Economie, november 2018

#### 4.1.2 Ontwerp voor Circulariteit

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase/TRL		
			'20-' '22	'22-' '24	'24-' '26	1-3	4-6	7-9
Inzicht in nieuwe waardeketens voor kunststoffen en de benodigde systeeminnovaties	Alleen kunststoffen op de markt die recyclebaar zijn en gerecycled worden	Tijdslijn, huidige lineaire ketens versus toekomstige ketens. Bepalen footprint voor verschillende producten en verschillende processen, ook in verhouding tot alternatieven, inclusief het geschikt maken van de huidige macro-economische en milieumodellen aan de energie en grondstoffen transitie				Niet relevant		
Materiaal- en productinnovaties: ontwerp van duurzame nieuwe materialen en producten	Ontwikkelen van vernieuwende alternatieven voor toepassingen voor eenvoudig recyclebare blends en composieten.	Ontwikkelen van processen voor nieuwe materialen en producten als alternatief voor 3 type producten: multimateriaal multilaags, engineering plastic, composiet – lab schaal				x	x	
		1 pilot plans voor 1 materiaal/product (voorbereiding voor opschaling naar 1 demo plant (2026-2030)					x	
		2 pilot plants voor 2 materialen/producten					x	

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



### 4.1.3 Circulaire Grondstoffen & Processen

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Effectiever sluiten van de kunststof waardeketens (maximale economische waarde, en minimale milieufootprint inclusief CO <sub>2</sub> -reductie)	Effectiever inzamelen, sorteren, scheiden en recyclen (750 kton mechanisch recycling, 250 kton chemisch recycling)	Sluiten van waardeketens: -Bepalen of recyclingambitie hoger kan -Bepalen welke stromen geschikt zijn voor mechanisch recycling en chemische recycling -Onderzoek naar beter inzamelen, sorteren, scheiden en karakteriseren van gebruikte kunststoffen.				Niet relevant		
		Ontwikkelen van sensoren en meetmethodes voor controle van recyclingprocessen en -producten.				x	x	
Optimalisatie van mechanische recycling en inzameling, voorbereiden, sorteren en scheiden	Inzameling en sortering geoptimaliseerd	Doorontwikkeling van technologie voor inzameling, voorbereiden, sorteren en scheiding: hardware, robotica, artificial intelligence en analyse technologieën, zoals snelle IR, NIR, RAMAN					x	
		Inzameling van verschillende applicatie/stromen optimaliseren.						x
Opschalen van thermisch chemische recycling voor bulk mixed stromen	2 commerciële installaties in 2026	Ontwikkelen van optimale procescondities: katalysator, terugwinnen van monomeer, opzuiveren van monomeer, specificaties input					x	
		Ontwikkeling van een commerciële installatie vergassing van plastics voor de productie van syngas						x
		Ontwikkeling van 1-2 commerciële installatie voor pyrolyse van plastics naar kraker feedstock						x
Ontwikkelen van chemische recyclingtechnologie voor plastic monostromen	Chemisch recyclen van 5-10 monostromen, waarin polymeren	Ontwikkelen van verschillende chemische recyclingtechnologieën voor moeilijk mechanisch te recyclen monostromen door middel van scheiden van polymeren van andere stoffen				x	x	

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-' '22	'22-' '24	'24-' '26	1-3	4-6	7-9
	gescheiden worden van de niet-polymere bestanddelen ontwikkelen tot TRL6	Ontwikkelen van verschillende chemische recyclingtechnologieën specifiek om te depolymeriseren				x	x	
		Ontwikkeling van nieuwe vernieuwende technologieën naast de huidige bekende ontwikkelingen in chemische recycling				x		

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

#### 4.1.4 Vertrouwen, Gedrag & Acceptatie

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL			
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9	
Gedrag en acceptatie rond circulaire producten en ketens.	Ontwikkeling van nieuwe duurzame waardeketens	Ontwikkelen van duurzame productinformatie voor bedrijven en consumenten die helpen bij het beïnvloeden van gedrag en (bedrijfs)cultuur bij consument en medewerker				Niet relevant			
		Ontwikkeling en acceptatie van nieuwe duurzame business modellen en transitie naar deze nieuwe modellen							
Acceptatie en gedrags-elementen toevoegen aan macro-economische en milieuimpactmodellen	In het stellen van prioriteiten voor beleidskeuzes wordt gedrag en acceptatie meegenomen	Aanvullen van macro-economisch modellen waarden voor een duurzaam ecosysteem om inzicht te creëren in de samenhang tussen beleidskeuzes, bedrijfskeuzes en burgergedrag							
Ontwikkelen van standaarden, normen, wetten en financiële prikkels	Nieuwe standaarden, normen, wetten en financiële prikkels geaccepteerd en klaar voor implementatie	Ontwikkeling van normen en wetten en financiële prikkels ter bevordering van circulariteit							
		Ontwikkelen van standaarden en testmethoden die richten zich op samenstelling van het recyclaat en gehalte aan zeer zorgwekkend stoffen/onzuiverheden/verontreinigingen.							
Evaluatiekader voor socio-economische inbedding van circulaire producten bewezen	Evaluatiekader voor socioeconomische inbedding van circulaire producten aangetoond in de praktijk	Maatschappelijke en socio-economische inbedding van circulaire waardeketens aantonen middels een demo.							

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

#### 4.1.5 Doelen deelprogramma Circulaire kunststoffen

De Nederlandse ambitie is om in 2050 100% circulair te zijn. In de praktijk is het heel lastig om de kunststofketen volledig te sluiten. Het blijft een uitdaging om materiaal dat wordt ingezameld en gerecycled weer zoveel mogelijk voor dezelfde toepassing in te zetten. Daarnaast is het vooralsnog lastig om de keten circulair te maken voor complexe kunststoffen. In de afgelopen decennia is al veel progressie geboekt. Zo wordt in Nederland ca. 40% van het kunststof verpakkingsafval ingezameld. Tijdens sorteren en mechanisch recycelen is er een verlies van 10% materiaal, waardoor ongeveer 30% ook daadwerkelijk wordt gerecycled. Om voor alle vormen van kunststoffen tot vergaande ketensluiting te komen is nog veel ontwikkeling nodig. Daarnaast zal er vanwege de nog altijd groeiende vraag beperkte suppletie met primaire grondstoffen nodig zijn. In de IKIA is een percentage van 20% aangehouden. Meer gedetailleerd zijn de doelstellingen voor kunststoffen tot 2030 als volgt:

Design voor Circulariteit	Circulaire grondstoffen & processen	Vertrouwen Gedrag en Acceptatie
Plastic verpakkingen 95% recyclebaar (2025)	Plastic verpakkingen voor 50% uit gerecycled materiaal (2025)	Strategische ketensamenwerking
Composieten *	Plastic recycling (2030)**: - mechanisch: 750 kton/jaar - chemisch: 250 kton/jaar	Definitie van recyclaatstandaarden
40% minder verbranding kunststoffen (2030)		Opname van de consument in de waardeketens
Vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot met 1 Mton in 2030		

\*) Er is in Nederland nog geen doelstelling geformuleerd voor recycling van composieten

\*\*\*) dit doel is opgesteld in het kader van de Transitieagenda Kunststoffen (CE)

#### 4.2 Stand van zaken Circulaire kunststoffen

De chemische industrie produceert voornamelijk voor het buitenland en exporteert circa 7000 kton kunststofproducten. Een kleiner deel, circa 2900 kton, wordt in Nederland verwerkt. Deze verwerkende industrie exporteerde ongeveer de helft (1400 kton) en de andere helft (1500 kton) is voor binnenlands gebruik. Het gebruik van kunststof neemt nog steeds toe. Zo is er afgelopen vijftig jaar het gebruik van plastic wereldwijd vertwintigvoudigd en zal dit naar verwachting nogmaals verdubbelen in de komende 20 jaar.

De totale hoeveelheid afgedankte kunststoffen in Nederland is 1700 kton per jaar. Hiervan wordt momenteel in Nederland slechts 250-300 kton kunststof per jaar mechanisch gerecycled. Daarnaast wordt 1313 kton aangeboden aan afvalverbrandingsinstallaties met energierugwinning. Het resterende deel kunststoffen blijft in gebruik. Ook komt een (relatief klein) deel in het milieu terecht. Daarnaast wordt er in Nederland ongeveer 500 kton gescheiden kunststofafval geïmporteerd waarvan het grootste deel (circa 60%) mechanisch gerecycled wordt. Het overige deel wordt verbrand of weer geëxporteerd.

Een groot deel van het gerecyclede plastic kan nog niet in een gesloten keten kwalitatief hoogwaardig worden ingezet. Er is derhalve een zeer groot verbeterpotentieel om kunststoffen langer in de keten te houden en de keten te sluiten en circulair te maken. Omdat er veel nieuwe ontwikkelingen zijn en gaan starten en het veld van de gehele circulaire keten nog ver van volwassen is, is het momenteel

nog niet duidelijk hoe ver de keten gesloten kan worden. De transitieagenda kunststoffen gaat uit van een suppletiegraad van primaire materialen van 20% (80% kwalitatief hoogwaardig hergebruik in 2050). Over deze aanname bestaat twijfel. Daarom dient onderzoek plaats te vinden middels een systeemstudie naar de haalbare mate van kringloopsluiting.

In dit deelprogramma worden de oplossingsrichtingen uitgewerkt die bijdragen aan de verhoging van het hergebruik van kunststofgrondstoffen op een hoogwaardige manier. Of daarmee de ambitie van 80% al gehaald kan worden, zal uit de eerder genoemde systeemstudie moeten blijken.

Verpakkingen is wereldwijd de grootste toepassing van plastics (40%). Voor de transitie naar circulaire grondstoffen heeft de Ellen McArthur Foundation drie strategieën gedefinieerd: redesign, reuse (hergebruik) en recycling. Geschat wordt dat 30% van de verpakkingen in de huidige vorm niet geschikt is voor hergebruik en recycling. Voor dit deel is redesign nodig. Daarnaast schat men in dat voor 20% van de verpakkingen reuse een economisch aantrekkelijke mogelijkheid is. Tot slot dient 50% van de plastic verpakkingen te worden gerecycled (Figuur 1)<sup>7</sup>.

### Three strategies to transform the global plastic packaging market



Figuur 1: Drie strategieën voor de nieuwe circulaire plastic economie.

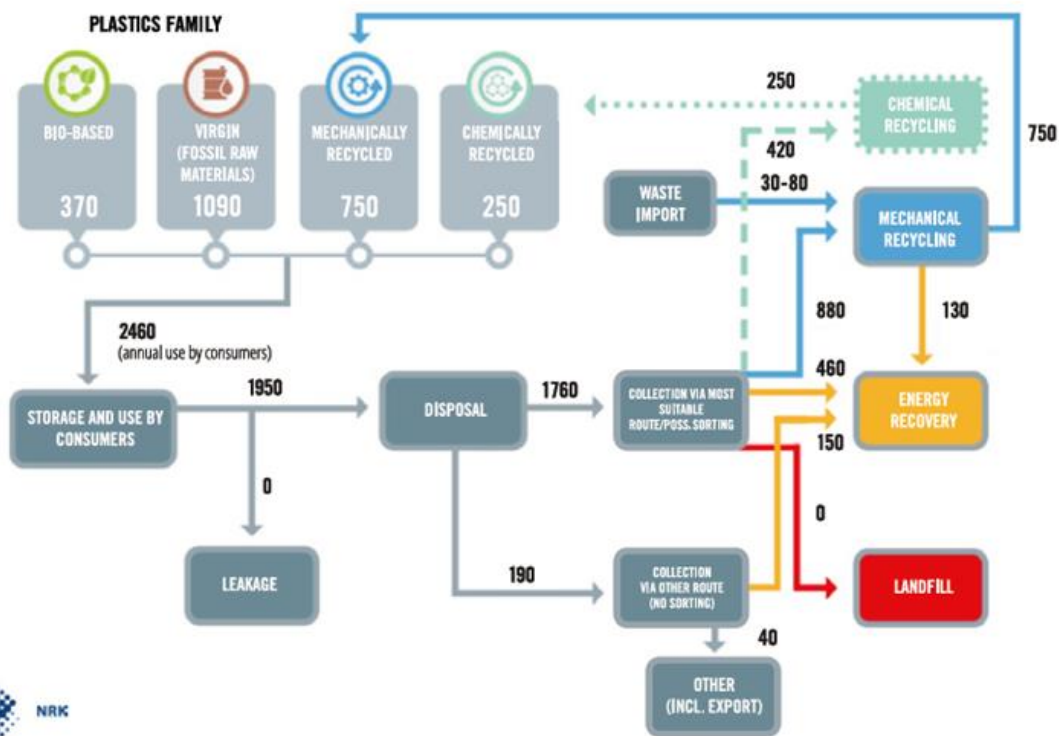
Naast verpakkingsplastics (non-durable <1 jaar levensduur) moeten ook engineering plastics uit electronics, automotive en construction (durable > 1 jaar levensduur) gerecycleerd worden. Plastic Pact (2025) en EU regulering (2030) stellen dat 100% van de gebruikte plastics recyclebaar moeten zijn en dat nieuwe plastic producten voor 35% moeten bestaan uit gerecycled materiaal. De laatste eis betekent dat er design voor recycling nodig is en dat plasticrecyclingprocessen ontwikkeld moeten worden met een hoog 'koolstof-atoom rendement'.

Hoewel verpakkingen vanwege het gebruik een relatief korte levensduur hebben, gelden de transitie strategieën ook voor andere toepassingen zoals in de bouw, in elektrische en elektronische apparaten en in automotive. De percentages verschillen wel significant.

Figuur 2 toont de ambities van de transitieagenda kunststoffen in het kader van het programma circulaire economie voor 2030. De verwachting is dat het totale volume plastics dat op de markt wordt gebracht, stijgt tot 2.460 kton (gemiddeld 1,5% groei per jaar). De ambitie is om per 2030 het aandeel mechanische recycling te verdrievoudigen naar 750 kton en daarnaast 250 kton kunststofafval chemisch te recycleren. Het aandeel biobased plastics stijgt naar 370 kton (15% van totaal). Ook dit aandeel moet recyclebaar zijn.

<sup>7</sup> [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid\\_English\\_22-11-17\\_Digital.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid_English_22-11-17_Digital.pdf)

## OBJECTIVE PLASTIC FLOWS NL 2030 (IN Kt, SIMPLIFIED DIAGRAM)



Figuur 2: Doelen voor kunststofrecycling. Illustratie ontleend uit de Circulaire Economie Transitieagenda Kunststoffen.

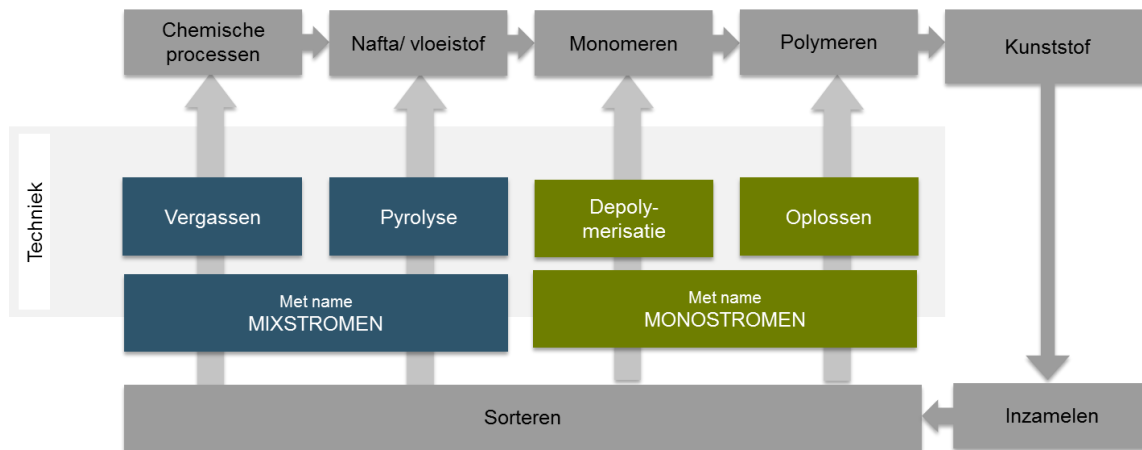
Het is niet altijd mogelijk om via mechanisch recycelen de gewenste kwaliteit te realiseren, waardoor recycelaat vaak voor laagwaardigere toepassingen wordt ingezet. Redenen hiervoor zijn dat mechanische recyclingprocessen niet goed toepasbaar zijn voor:

- relatief complexe stromen van verschillende materialen;
- aanwezigheid van aanhangend vocht en vervuiling;
- aanwezigheid van additieven, geur- en kleurstoffen;
- mono-stromen met een te klein volume om het sorteer- en verwerkingsproces rendabel te maken.

Voor stromen die moeilijk mechanisch te recycelen zijn is chemisch recycelen een kansrijke complementaire techniek, die ook een oplossing biedt voor de afnemende kwaliteit. (Thermisch) chemische recyclingtechnologieën kunnen worden ingedeeld in:

- Verwerking van mixstromen: veelal thermisch-chemische technologie zoals vergassing of pyrolyse. Deze technologieën zijn in het verleden al ontwikkeld voor andere grondstoffen (steenkool, biobased grondstof) en worden al toegepast. Focus ligt hier op de optimalisatie van deze technologieën voor de diverse mixstromen.
- Verwerking van mono-stromen: technologieën die de polymeren en niet-polymeren scheiden, zoals solvolyse en depolymerisatie-technologieën. Deze technologieën bevinden zich op een lager TRL-niveau. Focus ligt hier op de door ontwikkeling.

Zie Figuur 3 voor een visuele weergave van de opties binnen chemische recyclingtechnologieën.



Figuur 3: Overzicht van chemische recyclingtechnologieën.

## 4.3 Innovatieopgaven

Om deze ambitieuze transitie te bewerkstelligen zijn innovaties op een breed vlak essentieel. In de volgende paragrafen worden deze als volgt nader uitgewerkt:

- **Ontwerp voor circulariteit:** systeeminnovaties in de keten, inclusief re-use en productinnovatie van materialen en producten die beter recyclebaar zijn, met juiste kwaliteit, en veilig kunnen worden toegepast (safe and circular by design).
- **Circulaire grondstoffen en processen:** technische en systeeminnovaties, verbetering van de inzameling en voorbewerking en verbetering en ontwikkeling van recyclingprocessen.
- **Vertrouwen gedrag en acceptatie:** systeem- en sociale innovaties, zoals beïnvloeding van consumentengedrag, ketensamenwerking, invoering van standaarden (normen en bijbehorende testmethoden) en ondersteunende wetgeving en handhaving.

### 4.3.1 Ontwerp voor circulariteit

Dit deelprogramma richt zich op systeeminnovaties in de keten en op productinnovaties met als doel om de producten beter geschikt te maken voor hergebruik en recycling.

#### *Systeeminnovaties in de keten*

Er bestaan vele soorten kunststoffen met vele soorten toepassingen. Momenteel is niet helder hoe de huidige (lineaire) ketens er voor elke soort kunststof en product uitzien, laat staan hoe de optimale toekomstige circulaire ketens eruit zouden moeten zien. Om de juiste beslissingen te nemen en het juiste onderzoek aan te zetten is het essentieel dat er per kunststof een degelijke en verdiepende systeemanalyse wordt uitgevoerd van huidige situatie en gewenste toekomst. Ook zullen maatregelen voor verhoging %reuse worden ontwikkeld.

#### *Materiaal- en productinnovaties*

Ten tweede start het circulair maken van de keten met het ontwerp van materialen die goed recyclebaar zijn. De huidige generatie polymeren heeft vaak een complexe chemische structuur, omdat ze ontwikkeld zijn voor specifieke toepassingen. Zo moet autolak sterk zijn en moet een voedselverpakking voldoen aan criteria om het voedsel lang houdbaar te houden (o.a. barrière-eigenschappen, sterkte). Vaak zijn deze materialen moeilijk te recyclen, omdat ze niet vanuit dat oogpunt ontwikkeld zijn. Bij (her)ontwerp van materialen en producten is het noodzakelijk de huidige en toekomstige sorteer- en recyclingtechnologieën in acht te nemen.

Voorbeelden van materialen die in aanmerking komen voor redesign zijn multilayers (met toepassingen in onder meer verpakkingen en tapijten) en composieten (o.a. toepassingen in automotive en windmolens).

Mogelijke oplossingsrichtingen zijn het beperken van het aantal lagen tot 1, het toepassen van lagen van dezelfde soort kunststof, minder additieven toevoegen, recyclebaarheid van vezels. Andere oplossingsrichtingen zijn grootschalige toepassing van polymeren die makkelijker afbreekbaar zijn met katalytisch-thermische technieken en een nieuwe generatie van slimme materialen die intrinsiek recyclebaar zijn.

Naast recyclebaarheid is het ook essentieel dat bij het ontwerp rekening wordt gehouden met herbruikbaarheid en onderhoudbaarheid, productkwaliteit en volledige veiligheid voor werknemers, het milieu, de consument en een lange levensduur van de assets. Denk hier aan de aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen en legacy-stoffen. Dit uitgangspunt van 'safe and circular by design' vraagt van ontwerpers een andere mindset en (nieuwe) multidisciplinaire vaardigheden. Daarom is het van belang hier ook aandacht aan te besteden in relevante opleidingen.

### 4.3.2 Circulaire grondstoffen en processen

Dit deelprogramma richt zich op de optimalisatie van circulaire grondstoffen en processen. Het betreft met name technische en systeeminnovaties voor verbetering van de inzamelingsinfrastructuur en verbeteringen en ontwikkeling van recyclingprocessen. Lijnen zijn:

- Effectiever sluiten van de kunststof waardeketens
- Optimalisatie van mechanische recycling en inzameling, voorbereiden, sorteren en scheiden
- Opschalen van thermisch-chemische recycling
- Ontwikkelen van chemische recycling voor mono-stromen

#### **Effectiever sluiten van de kunststof waardeketens**

Het is voor circulariteit essentieel om waardeketens volledig te sluiten (tot waardecircels). Daarbij is keuze voor de juiste technologie voor zo hoogwaardig mogelijk recyclen van kunststoffen essentieel. Hiervoor is onderzoek nodig naar beter inzamelen (scheiden bij de bron), sorteren en karakteriseren om op deze manier zorg te dragen voor goede inputstromen voor mechanisch en chemisch recyclen.

Voor de monitoring van kwaliteit en veiligheid van processen zijn nodig: (1) sensoren voor in-line- en on-line-monitoring en (2) analysetechnologieën. Op dit moment worden met name in-line karakterisering toegepast bij sorteren en mechanische recycling en off-line monitoring technieken toegepast in de chemische recycling. De opgave is om de komende 4 jaar sensoren voor in-line en on-line-monitoring van recyclingprocessen te ontwikkelen, inclusief kosteneffectieve getrapte meetmethoden voor controle van recycling-processen en -producten. Voor accurate kwantificatie van de materiaalsamenstelling en voor de detectie en identificatie van toxische contaminanten of legacy chemicals in zowel inputstromen als processen en producten kunnen analysetechnologieën at-line of in het laboratorium worden ingezet. Ook ontwikkeling van analysemethode voor het meten van zeer zorgwekkende stoffen in kunststoffen is een onderwerp. Deze technologieën moeten vervolgens in (bestaande) ketens worden ingezet en deze ketens ook daadwerkelijk gaan sturen naar hoogwaardige output en kostenefficiëntie. In het (her-) ontwerp voor recycling moet met deze mogelijkheden rekening worden gehouden.

#### **Optimalisatie van mechanische recycling en inzameling, voorbereiden, sorteren en scheiden**

Mechanische recycling wordt op grote schaal toegepast voor PET flessen en voor gesorteerde HDPE flessen of PP-verpakkingen. Deze flessen en verpakkingen komen uit huishoudelijke afvalstromen of van het PET-flesseninzamelingssysteem van supermarkten. Ook plastics die gebruikt worden voor industriële verpakkingen zoals stretchfilms worden steeds vaker mechanisch gerecycled.

Met name Post Consumer Recycled Plastics (PCR) bestaat uit mengsels van verschillende plastics. Blends van polaire en apolaire materialen leiden tot een verslechtering van het eigenschappenprofiel en zorgen ervoor dat de PCR niet voor dezelfde toepassingen gebruikt kan worden en dus in minderwaardige eindapplicaties terecht komt. Een ander probleem is verontreiniging. Hierdoor is het vaak niet mogelijk om PCR in voedselverpakkingen in te zetten.



Onderzoek is vooral nodig gericht op het beter verzamelen, scheiden en karakteriseren van gebruikte kunststoffen, om daarmee te komen tot betere kwaliteit inputmateriaal voor opzuivering en hergebruik. Toepassing in de praktijk en verwerking in (her-)ontwerp is hier weer nodig.

### **Opschalen van thermisch-chemische recycling**

Bij het verwerken van mixstromen in thermisch chemische recycling kan onderscheid worden gemaakt in vergassing en pyrolyse. Er bestaan ook diverse hybride vormen. Het huidige TRL-niveau van vergassingstechnologie is 6- 9. Er zijn ook kansrijke nieuwe vergassingstechnologieën, zoals indirecte vergassing naar aromaten en olefinen. Deze bevinden zich op TRL 6. Pyrolyse is geschikt voor gevarieerde stromen kunststoffen met PE, PP of PS. Het nadeel is dat kraken niet zomaar geschikt is voor de gemengde kunststofstroom. In geval van plasticmengsels die PET en PVC bevatten is een tweetraps proces nodig met als eerste stap de decompositie van PVC en PET. TRL is 7-9.

Voor zowel vergassing als pyrolyse is de innovatieopgave gericht op het robuust maken van deze technologieën, flexibel inspeland op variabele feedstock, met product met juiste specificaties en economisch rendabel. Doel is voor beide technologieën commerciële installatie te bouwen in 2026.

### **Ontwikkelen van chemische recycling van mono-stromen**

Er zijn twee soorten chemische recyclingstechnologieën voor mono-stromen:

- Depolymerisatietechnologieën: breken polymeren af tot monomeren, waarna er weer polymeren van gemaakt kunnen worden.
- Technologieën voor scheiding van samengestelde polymeren (multilayers, composieten) en voor het scheiden van additieven, inktten etc. uit polymeren, zoals solvolyse.

Depolymerisatie heeft als voordeel dat onzuiverheden uit het kunststof mengsel worden verwijderd. Het nadeel is dat de instroom van materialen relatief zuiver en eenduidig moet zijn. Technologieën als katalytische depolymerisatie zijn kansrijk voor condensatiepolymeren zoals PET, polyamide, polymelkzuur. Deze technologieën bevinden zich op TRL-niveau 6 (PET) en 3 (polyamide, polymelkzuur en polycarbonaat). De innovatieopgave richt zich op het doorontwikkelen van deze technologieën naar pilotschaal.

Technologieën voor scheiding van polymeren van andere materialen: bij deze manier van chemische recycling worden materialen als het ware uit elkaar geplukt en van elkaar gescheiden. Er zijn diverse principes die toegepast zouden kunnen worden voor deze scheiding en opwerking. Een kansrijke technologie is solvolyse. Door kunststoffen met een oplosmiddel te bewerken, kunnen samengestelde materialen uit elkaar worden gehaald. Dit proces levert polymeren op waarvan opnieuw kunststoffen kunnen worden gemaakt. Solvolyse heeft ook als voordeel dat onzuiverheden uit het ingezamelde kunststofafval worden gehaald en dat polymeren én additieven, zoals bijvoorbeeld broomhoudende brandvertragers, kunnen worden gescheiden en gerecycled. Toepassingsgebieden voor deze technologie zijn multimaterialen als meerlaags verpakkingen, multimaterialen zoals tapijten, kunstgras en thermoplastische composieten, plastic afval van elektronische en elektrische apparaten (AEEA), voertuigen en bouw- en sloopafval. Het nadeel is dat de instroom van materialen relatief zuiver en eenduidig moet zijn. TRL niveau van deze technologie varieert tussen 3-6 afhankelijk van het inputmateriaal. De innovatieopgave is verdere ontwikkeling van een of meerdere kansrijke technologieën, zoals solvolyse, tot TRL6 en opschaling naar het niveau van een pilot plant in 2023.

### **4.3.3 Vertrouwen, gedrag en acceptatie**

Om de transitie naar een circulaire economie voor kunststoffen te bereiken is meer nodig dan technologie-ontwikkeling alleen. Om de doelstellingen van het deelprogramma te halen, is het noodzakelijk op Nederlands niveau het ecosysteem van overheden, bedrijven en burgers mee te krijgen teneinde ondersteunende organisatorische, sociale, psychologische, fiscale en juridische subsystemen te ontwikkelen die de transitie accommoderen. Dit zal gepaard moeten gaan met de ontwikkeling van business, reken- en impactmodellen die hanteerbaar zijn voor verschillende doelgroepen (burgers, bedrijven en overheden). Daarnaast zullen normen voor recyclaten ontwikkeld moeten worden.

### **Gedrag en acceptatie rond circulaire producten en ketens**

Voor bedrijven en consumenten is het belangrijk om op basis van duurzame productinformatie beslissingen te nemen. Hiervoor is een nul-meting noodzakelijk, zodat meer inzicht verkregen wordt in de footprint van kunststofproducten. Het is nu voor zowel bedrijven als consumenten lastig om te bepalen wat de meest duurzame keuze is. Bijvoorbeeld een verpakking met gerecycled materiaal die daardoor iets dikker is of de originele dunne maar complexe verpakking. De innovatieopgave heeft betrekking op het opnieuw inrichten van LCA methodieken (incorporeren van circulariteit in LCA's) en het op basis hiervan inzicht genereren in de footprint van kunststofproducten. Mede op basis van deze concepten en methodieken kan een afweging gemaakt worden tussen de verschillende om keuzes te optimaliseren.

Voor de ontwikkeling van nieuwe duurzame ketens is ook behoefte aan nieuwe business-, reken- en impactmodellen. Het aantal aansprekende circulaire voorbeelden is klein en heeft vaak nog een beperkte schaalgrootte. Voorbeelden kunnen bovendien niet zonder meer in dezelfde of een andere industrie opgeschaald of gekopieerd worden. Nieuwe business modellen zoals 'product as a service', substitutie, cascadering e.d. blijken in de praktijk tegen onverwachte weerstand in gebruikersgedrag aan te lopen (mede ingegeven door de institutionele context), waardoor replicatie, disseminatie en opschaling van nieuwe businessmodellen wordt bedreigd.

Een duurzame keuze betekent in de huidige lineaire economie niet perse een duurzaam business model. Innovatievragen hebben betrekking op:

- Welke manieren van organiseren, anders dan pure marktmechanismen, zijn beschikbaar om ketens op basis van gedeelde waarden te ontwikkelen?
- Welke (nieuwe) technologieën, drijfveren (o.a. gezondheid, schaarste e.d.) en wettelijke kaders (belasting, subsidie e.d.) gekoppeld aan business modellen kunnen huidige marktperfectionen oplossen waardoor circulaire alternatieven gaan prevaleren?
- Op welke wijze kunnen we aannamen over menselijk gedrag in bepaalde ketens expliciet maken, modelleren en valideren en welke interventies zijn beschikbaar of moeten ontwikkeld worden om gewenst ander gedrag positief beïnvloeden?
- Hoe kunnen andere (dan alleen financiële) waarden worden meegenomen in het fiscale systeem en de belasting- en accountingpraktijk, teneinde het maken van duurzame keuzes te borgen in een duurzaam juridisch-fiscaal ecosysteem?

### **Acceptatie en gedragselementen toevoegen aan macro-economische en milieuimpactmodellen**

Er is dringende behoefte aan meerdere macro-economische modellen, inclusief gedragselementen van stakeholders, die inzicht geven in de ontwikkeling van een circulaire economie en de bijbehorende beleidskeuzes. Deze macro-economische modellen moeten variaties op bovenstaande waarden kunnen accommoderen en op een dynamische manier de gevolgen c.q. samenhang van korte- en langetermijn beleidskeuzes laten zien in het licht van het streven naar een duurzaam ecosysteem. Daarmee moet de samenhang tussen beleidskeuzes, bedrijfskeuzes en burgergedrag inzichtelijk worden zodat prioriteiten gesteld en strategieën ontwikkeld kunnen worden.

### **Ontwikkelen van standaarden, normen, wetten en financiële prikkels**

Om tot nieuwe circulaire ketens te komen, zijn nieuwe standaarden en aangepaste wet- en regelgeving noodzakelijk. Omdat de ketens er substantieel anders uit gaan zien, is er behoefte aan onderzoek naar hoe internationale normen (o.a. NEN, ISO), rapportagemethodieken (o.a. GRI, ICCR) en regelgeving zo kunnen worden aangepast en ingezet, dat zij circulariteit stimuleren. Als voorbeeld: regelgeving verbiedt de inzet van recycelaat voor toepassing in voedselverpakkingen. Daardoor is het niet mogelijk om van gebruikte voedselverpakkingen weer nieuwe voedselverpakkingen te maken (met uitzondering van PET onder bepaalde condities). Tenslotte is het voor het wederzijds vertrouwen in de waardeketen (B2B, B2C en ook C2B) van belang dat er standaarden en bijbehorende testmethoden ontwikkeld worden. Een ander voorbeeld is de normering voor zeer zorgwekkende stoffen (ZZS-en; SVHCs) en legacy-chemicals.

### **Evaluatiekader voor socioeconomische inbedding van circulaire producten bewezen**

Uiteindelijk is het nodig om in praktijk aan te tonen dat het nieuwe kader ook daadwerkelijk werkt in een demo project.

## 4.4 Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie

Om de doelstellingen binnen het deelprogramma circulaire kunststoffen te halen zullen ketens er substantieel anders uit gaan zien. In deze ketens zal anders worden gestuurd en zullen de business-ecosystemen substantieel veranderen. Dit vraagt om beleid en regelgeving dat is afgestemd om de ketens te sluiten, op het juiste te sturen en de noodzakelijke veranderingen te stimuleren. Meer specifiek zal tenminste beleid en internationale regelgeving nodig zijn op de onderstaande onderwerpen.

### *Chemisch recycling in LAP*

Om chemische recycling sectorbreed van de grond te krijgen is het van belang dat er internationaal gemeenschappelijke definities en uitgangspunten voor chemische recycling gehanteerd worden. Daardoor kan er meer zekerheid aan investeerders geboden worden voor toekomstige activiteiten.

Het huidige afwegingskader voor bepaling van hiërarchie in recycling, zoals benoemd in het LAP3, heeft voldoende beweegruimte om innovatie op het gebied van chemische recycling toe te staan. Breed gedragen is het advies van VNO-NCW om op dit moment geen beleidsaanpassingen door te voeren. Wel wordt aangeraden dat **alleen** het terugbrengen naar een grondstof tot (gedeeltelijke) chemische recycling wordt gerekend. Dit kan leiden tot een gedeeltelijke kwalificatie voor technieken zoals pyrolyse en vergassing, die gedeeltelijk tot recycling leiden en gedeeltelijk tot brandstofterugwinning.

Het afwegingskader is echter nog niet voldoende duidelijk voor alle ondernemers. Deze onduidelijkheid heeft betrekking op de volgende aspecten:

- Hoe de voorkeursbehandeling wordt ingevuld;
- Welke minimumstandaarden gelden;
- Welke rol de LCA bij de afweging speelt;
- Of een betere kwaliteit feedstock een rol speelt;
- Of er naar inputstromen wordt gekeken.

Een verheldering van het LAP is van belang. Advies is dat VNO-NCW in samenwerking met I&W en EZK werken aan een verheldering van het LAP in een guideline, die ondernemers en sleutelpartijen verder helpt in een gezamenlijk begrip en manier van omgang met betrekking tot de regelgeving voor chemische recycling. Parallel is het essentieel het afwegingskader ook in Europees verband op te lijnen.

### *Chemische recyclers aanmerken als gecertificeerde recyclers*

Vanuit de systematiek van producentenverantwoordelijkheid betalen producenten en importeurs van verpakkingen een bijdrage voor de verwerking van de door hen op de markt gebrachte verpakkingen. Het Afvalfonds Verpakkingen verstrekt vervolgens vergoedingen aan gemeenten voor de inzameling en sortering van huishoudelijk verpakkingsafval. De bestaande afspraken in de Raamovereenkomst Verpakkingen en de vergoedingensystematiek zijn gebaseerd op mechanische recycling en materiaalhergebruik. Op dit moment valt chemische recycling niet onder de vergoedingensystematiek. Gezien de beleidsmatige erkenning van chemische recycling als vorm van recycling, zou een plek voor chemische recycling in de vergoedingensystematiek onderzocht moeten worden. Hiervoor is het nodig dat individuele chemische recyclers door het Afvalfonds Verpakkingen worden erkend als gecertificeerde recyclers voor kunststoffen. En dat daarnaast de vergoedingensystematiek in de Raamovereenkomst wordt aangepast.

#### *Beëindigen export van plastic afval naar niet-Westerse landen*

Voor acceptatie en implementatie van recycling is het noodzakelijk dat export van plastic afval naar niet-Westerse landen wordt stopgezet. Dit om een constante stroom van plastic afval voor investeerders te garanderen en om zicht te houden op de kwaliteit van gerecyclede materialen. Bij mechanische recycling van plastics in niet-Westerse landen wordt onvoldoende aandacht besteed aan additieven die door veranderde wetgeving niet meer gebruikt mogen worden of restricties bevatten (bijvoorbeeld SVHC's en legacy-chemicals). Door terugkomst van deze plastics in Nederland (of EU) kan de maatschappelijke acceptatie van gerecyclede plastics hierdoor in gevaar komen. Dit kan zijn weerslag hebben op het imago van de technologie als geheel.

#### *Afvalstatus van feedstock*

Vanwege hygiëne en publieke veiligheid worden er Europese eisen gesteld aan locaties en verwerkers van afvalstromen. Installaties en locaties dienen daarom een afvalverwerkingsvergunning te hebben. Locaties waar huidige petrochemische installaties staan hebben geen afvalvergunning (bijvoorbeeld Chemelot). Parallel hieraan is het ontbreken van eenduidige EU regels voor einde-afvalstatus een probleem. De Nederlandse regels worden niet overal geaccepteerd. Turkije is hiervan een bekend voorbeeld.

#### *Beperking en/of vertraging in import van feedstock (EVOA)*

Transport van (kunststof)afval over de grenzen binnen Europa moet aan de EVOA-regelgeving voldoen. Wanneer afval voorkomt op de zogenaamde groene lijst, leidt dit niet tot problemen. De oranje lijst kent beperkingen in import/export, te weten een procedure waar voorafgaande schriftelijke kennisgeving en toestemming geldt. Dit kost tijd en mankracht. Gewenst is dat er geen exportvergunning voor gemengde kunststofafval nodig is omdat productiecapaciteit in veel gevallen groter zal zijn dan het Nederlandse aanbod.

#### *Foodgrade toepassing*

Aan foodgrade toepassingen zijn strikte eisen gesteld vanuit publieke veiligheid en hygiëne. Omdat bij chemische recycling de kunststoffen teruggebracht worden tot monomeren en (zuivere) polymeren, lijkt hiervoor vanuit veiligheid en hygiëne geen probleem te zijn. De vraag is echter of dit ook erkend wordt onder de huidige regelgeving van EFSA.

#### *Regulatoire concentratielimieten van componenten in plastic*

Verandering in regulatoire concentratielimieten van componenten in plastics kan zorgen voor een terughoudendheid van investeerders in recycling. Advies is een stabiel regulatorisch beleid en een geharmoniseerde methode voor het screenen van recyclingsmateriaal op componenten.

#### *Stimulering van veranderingen in de ketens en ecosystemen*

Om ketens versneld circulair te laten worden is stimuleringsbeleid nodig, voor de nieuwe ecosystemen en nieuwe partijen hierin. Stimulering voor partijen die in de toekomstige ketens geen rol meer hebben zal met beleid moeten worden afgebouwd. Hiertoe is een beleidsonderzoek nodig dat verheldering biedt over welk stimuleringsbeleid en wet- en regelgeving de vorming van de nieuwe ecosystemen vertraagt en moet worden opgeheven en welke nieuwe ecosystemen stimulering nodig hebben.

## 4.5 Stakeholders/actoren

Voor circulaire grondstoffen is samenwerking door de gehele waardeketen nodig. Dit betreft zowel stakeholders die het product maken: polymeer producenten, compounders, verpakkers, brand-owners als stakeholders die van reststromen weer grondstoffen maken, zoals afvalinzamelaars, sorteerdere, recyclers, afnemers recycled materiaal, aangevuld met ondersteunende activiteiten zoals elektriciteitsproductie en logistiek. Deze circulaire ecosystemen zijn nieuw en significant anders dan de huidige lineaire ecosystemen. Momenteel is er ook veel versnippering van allerlei (kleinere) initiatieven. Om meer gezamenlijk effect en resultaat te bereiken is ketensamenwerking essentieel.

Dat betekent dat hieraan bewust aandacht besteed moet worden zowel in algemene zin als ten aanzien van consortiumvorming voor onderzoeksprogramma's. Dit zou gestimuleerd kunnen worden door de vorming van een fysiek/virtueel platform waar ketenpartijen elkaar beter kunnen vinden rond circulaire innovaties en ketensamenwerking: het sneller verspreiden van goed werkende voorbeelden, inzicht in techniek als businessmodellen, opschalingsperspectieven, feedback en versnelling. Hierin zou dan ook kennis in kunnen worden gebracht over wet en regelgeving. De recentelijk opgeschaalde CircoTracks zijn hiervoor mogelijke kandidaten. De terugkomdagen van die tracks kunnen het forum vormen voor het ophalen van knelpunten en het delen van informatie over aanstaande oplossingen.

Ook internationaal zijn diverse platforms aanwezig of in oprichting. Zo wordt in trilateraal verband van Vlaanderen, Nordrhein-Westfalen en Nederlands gewerkt aan een regionale strategie voor de chemische industrie, met broeikasgasemissiereductie en grondstoffentransitie als belangrijke speerpunten. Internationaal is CEFLEX een mooi voorbeeld waar ketensamenwerking en kennisdeling wordt gestimuleerd. CEFLEX is een samenwerkingsinitiatief van een Europees consortium van bedrijven en associaties die de gehele waardeketen van flexibele verpakkingen representeert. Deze initiatieven zijn ook nodig voor andere waardeketens, zoals bijvoorbeeld de waardeketen van elektrische en elektronische apparatuur.

Internationale branche-organisaties zoals Plastic Europe, Plastics Recycling Europe, VinylPlus, European Plastic Converters, WEEE Forum en EERA spelen een belangrijke rol in kennisdeling. Nationale branche organisaties zijn veelal aangesloten bij deze Europese branche organisaties. Op kennisontwikkelingsniveau is nauwe samenwerking tussen universiteiten (RuG, UvA, WUR, TuE, UT, UU, UM, RU), TO2, research communities als Polymer Science Park, BMC, BrightSite, ISPT, DPI, COAST en CBBC, rijkskennisinstellingen (RIVM, NVWA) en hogescholen (o.a. Windesheim, Zuyd) essentieel.

## 4.6 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Nederland heeft grote belangen in de kunststofindustrie<sup>8</sup>. Er zijn 137 producenten van kunststof met gezamenlijk 8.600 werknemers, die een jaaromzet in 2018 van € 10,3 miljard (2016: € 8,7 miljard) behaalden. De kunststof- en rubberverwerkende industrie bestaat uit circa 1.400 bedrijven, met 55.000 werknemers en een omzet van € 13,5 miljard (2016: € 12,5 miljard). In totaal gaat het dus om een bedrijvigheid van ruim 1.500 bedrijven, van multinationals tot MKB bedrijven, waar ongeveer 64.000 mensen werkzaam zijn, met een omzet dat tendeert naar de €25 miljard.

Nederland is 1 van de circa 9 EU landen die een voortrekkersrol vervullen in zowel collecteren/sorteren, als verwerken, opzuiveren en hergebruik van plastics en/of grondstoffen voor plastics. Voor transitie naar circulaire economie zijn majeure veranderingen nodig. Dat kan alleen als er tussen de ketens wordt samengewerkt en er sprake is van inclusiviteit: naast de gevestigde ketenpartijen is ook het betrekken van nieuwe innovatieve spelers, maatschappelijke organisaties, burgers en decentrale overheden nodig. Een optimale keuze in schaalniveau zal voor elke (deel)sector of stroom verschillen: zo klein als mogelijk en zo groot als nodig.

Nederland heeft een goede infrastructuur voor implementatie van technologie. De huidige mechanische recycling terug naar primaire toepassing wordt uitgevoerd voor PET-flessen (o.a. 4PET, Cumapol). Mechanische recycling van polyolefines terug naar secundaire toepassing is groeiend (o.a. QCP, Morsinkhoff). Er zijn diverse agglomeraten in de regio waar ketenpartijen samenkomen, zoals Brightlands/Chemelot, Rotterdamse haven, Terneuzen (Oost Brabant/Zeeland). Met deze sites heeft Nederland een goed investeringsklimaat voor circulaire plastics.

---

<sup>8</sup> The New Plastics Economy<sup>6</sup> – Rethinking the future of plastics, World Economic Forum Ellen MacArthur Foundation, 2016.

Nederland heeft een sterke kennispositie en integratie van onderzoek en bedrijfsleven via Brightsite, (UM, TNO en Sitech), het platform chemisch recycling (CBBC & Brightsite), NIOK/VIRAN (Katalyse), DPI (Polymeerchemie), COAST (analytische technologie) en ISPT (procestechnologie) voor de ontwikkeling van nieuwe recyclingstechnologieën. Ten slotte, met het tekenen van Plastic Pact door 70 bedrijven is een mooie start gemaakt met de gezamenlijke innovatieopgave voor circulaire kunststoffen.

## 4.7 Communicatie, leren en disseminatie

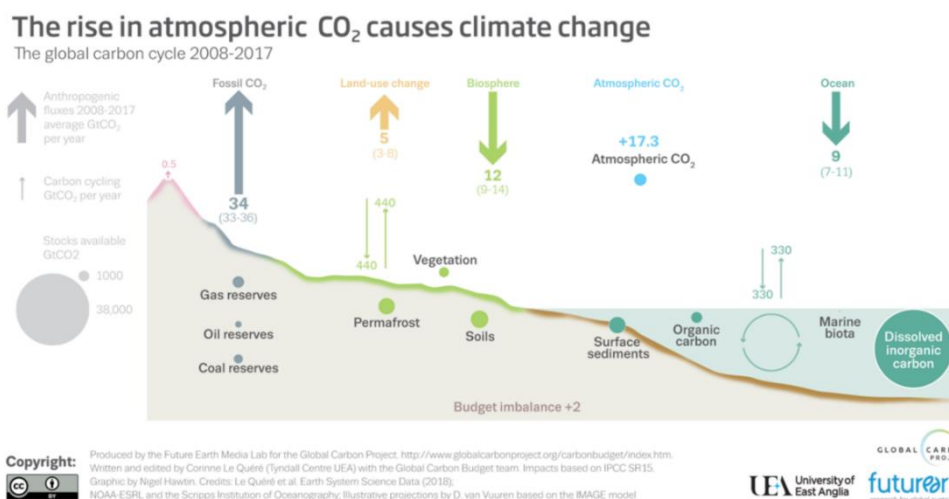
Omdat de circulaire keten substantieel verandert en ecosystemen nieuw zijn is extra aandacht voor communicatie, leren en disseminatie essentieel. Het opzetten van een platform is hierbij essentieel (zie stakeholders). Ook is het nodig circulaire kunststoffen goed te verankeren in de leerlijnen MBO, HBO en universiteit. Momenteel zijn er nog zeer beperkt vakgroepen en leerstoelen ingericht op gebied van circulariteit van kunststoffen en chemische recycling. Een aantal initiatieven zijn gestart om dit meer gestalte te geven. Hier moet versneld aandacht voor komen.

## 5 Deelprogramma 2: Biobased grondstoffen voor producten en transportbrandstoffen

### 5.1 Programmatische aanpak

#### 5.1.1 Introductie

Inzet van groene koolstof, geleverd door biobased grondstoffen, vervangt gebruik van fossiele koolstof, voor die functies waar geen of nauwelijks andere hernieuwbare opties voor zijn. Jaarlijks gaat er 80 Gton aan koolstof rond in de fotosynthese. Door wereldwijd per jaar 1,5 Gton aan groene koolstof te gebruiken uit deze natuurlijke kringloop is te voorzien in de koolstofbehoefte, zonder dat het additionele koolstof toevoegt aan de atmosfeer. De groene koolstofvoorraad zal wereldwijd moeten groeien om het koolstofoverschot in de atmosfeer op te nemen. Het gebruik van de groene koolstof vraagt om inzet van de bijgroei van groene koolstof, zonder in te teren op de huidige voorraad.



Biobased grondstofverwaarding is een concept dat bijdraagt aan vervangen van fossiel gebaseerde CO<sub>2</sub>. Inmiddels zijn door steeds progressievere duurzaamheidsprincipes sommige uitvoeringsvormen gemitigeerd. Biobased grondstoffen vormen vooral voor de chemische industrie en de transportsector een belangrijke route voor verduurzaming, omdat deze sectoren een koolstofbron nodig hebben. De industrie voor het maken van chemicaliën en producten. Voor het zware langeafstand transport zijn energiedragers met een hoge energiedichtheid nodig (kenmerkend voor vloeibare brandstoffen). Daarbij zullen de huidige motoren nog decennia in gebruik zijn, bijvoorbeeld in (maar niet uitsluitend) lucht- en scheepvaart. Dat vraagt om vervanging van fossiele brandstoffen door hernieuwbare brandstoffen (op dit moment zijn daar biobrandstoffen de belangrijkste deelverzameling van). De ontwikkeling en implementatie van biochemicaliën en biobrandstoffen kan voor een groot deel parallel lopen, omdat beide toepassingsvormen van dezelfde technologieplatforms gebruik maken.

Zoals het IPCC-rapport van december 2018 aangeeft zal BECCS<sup>9</sup> onvermijdelijk zijn om binnen het carbon budget voor 1,5 of 2 graden temperatuurstijging te kunnen blijven. Voor BECCS is de geconcentreerde carbon output binnen bioraffinage, biochemicaliën- biobrandstof productie een belangrijke bron. Daarnaast is er grote behoefte aan vastleggen van koolstof in gemarginaliseerde en uitgeputte landbouwgronden waarvoor de bio-energie- en bioraffinagesector biochar kan leveren.

Dit deelprogramma beschrijft de inzet van biobased grondstoffen voor materialen en producten in de industrie en tevens voor transportbrandstoffen voor de mobiliteitssector. Energie-conversie is niet de primaire focus, maar zal aan de orde komen als onderdeel van de bioraffinageconcepten.

<sup>9</sup> BECCS: Biomass Energy and Carbon Capture and Storage

## 5.1.2 Ontwerp voor Circulariteit

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Mobiliseren van voldoende, duurzame beschikbaarheid van biobased grondstoffen	In 2030 is voldoende duurzame biobased grondstof beschikbaar (10-15 Mton) voor het realiseren van de benodigde producten voor de chemie en transportsector. De ontwerpparameters voor uitbouw van duurzame beschikbaarheid zijn bekend voor de periode na 2030	Er wordt onderzocht hoe cross-disciplinaire en cross-sectorale ontwikkeling van duurzame en sociaal eerlijke biobased-grondstof-waardeketens moeten worden ingericht. Hierbij focus op grondstofvoorziening binnen de Europese context.	x	x	x	n.v.t.		
		Vanwege de noodzaak om na 2030 steeds minder terug te vallen op de inzet van fossiele grondstoffen worden cascaderingsconcepten voor biobased grondstoffen, inclusief ontwerp voor adaptief instrumentarium verder uitgewerkt						
		Onderzoek naar de optimalisatie logistieke structuren (zowel in Nederland als in Europese context) voor de productie en inzet van biobased grondstoffen, inclusief ruimtelijke inpassing						
	Sterk verbeterde eco-footprint van producten en processen							
Ontwikkelen van verbouwingstechnieken die gecascadeerd gebruik van biomassa mogelijk maken		Onderzoek naar methodieken om de footprint van producten en processen te bepalen. Huidige LCA-analyses honoreren de CO <sub>2</sub> die is opgeslagen in biobased producten niet eenduidig	x	x	x		10	20
		Ontwikkelen van nieuwe circulaire businessmodellen voor biobased producten						
		Ontwikkelen en optimaliseren van (per grondstof mogelijk verschillende) voorbehandelingstechnieken voor opwerking naar homogene, energiedichte en verder verwerkbare tussenproducten	x	x	x			
		Onderzoek naar mogelijkheden voor mineralenterugwinning, grondstoffractionering, optimalisatie laagwaardige grondstoffen						

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



### 5.1.3 Circulaire Grondstoffen & Processen

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Bioraffinage en conversie van biobased grondstoffen naar chemicaliën, materialen, transportbrandstoffen en energie	Hoogwaardige productketens ingevuld door biobased koolstof	Thermochemische conversie naar productgas, groen gas, (pyrolyse)olie voor energie én chemie - o.a. pyrolyse, (droge en superkritisch water-)vergassing - opwerking eindproducten tot gewenste specs - koolstof als reductiemiddel voor staalindustrie	x	x			20	30
	Ontwikkeling biobased bulkchemicaliën	Chemisch-katalytische en biotechnologische conversie - vergisting (mineralenterugwinning, optimaliseren voor laagwaardige grondstoffen, verbeteren gaskwaliteit) - biobased-grondstoffractionering en opwerking cellulose en hemicellulose naar C5/C6 suikers - opwerking C5/C6 suikers naar novel biobased building blocks (o.a. naar PLA, PHA, FDCA, organische zuren, MEG, bio-aromaten) en producten op basis daarvan - valorisatie lignine	x	x	X	40	80	120
	Ca. 100 PJ transportbrandstoffen voor wegtransport, binnenscheepvaart en luchtvaart	Bioraffinage: realisatie van drie bioraffinage complexen per 2030 voor coproductie van componenten voor chemie en brandstoffen	x	x	x		25	225
	3 Bioraffinage complexen voor gecombineerde productie chemische building blocks, brandstoffen en energie	BECCS: Ontwikkeling van bioraffinage concepten voor biochemicaliën en biofuels in combinatie met BECCS.	x	x	X	5	20	25
	Inzet biocokes voor de staalproductie technisch uitontwikkeld	Doorontwikkeling en implementatie geavanceerde biobrandstoffen - verlaging productiekosten - verhogen energetisch rendement - co-processing biocrudes in raffinaderijen - onderzoek, ontwikkeling dedicated fuels voor scheepvaart (low grade) - idem voor luchtvaart (high-grade: biojet, HEFA, ATJ)) Belangrijke ontwikkelplatforms: - Vergassing - Pyrolyse	x	x	x		30	100

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22- '24	'24- '26	1-3	4-6	7-9
		Biochemische conversie C5/C6 suikers						
		Ontwikkelen van op demoschaal functionerend opwerkingsproces voor biobased koolstof met gewenste specificaties als reductiemiddel voor staalindustrie	x	x	x	3	7	10

**Legenda voor kleuren:** **donkergroen** = hoge prioriteit, als eerste op te nemen in MMIP; **groen** = gemiddelde prioriteit, toevoegen indien voldoende budget; **lichtgroen** = lage prioriteit, mogelijk later opnemen. Vanwege de grote variatie aan activiteiten is de prioritering op dat niveau aangegeven in plaats van het niveau van de innovatieopgave.

### 5.1.4 Vertrouwen, Gedrag & Acceptatie

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Aantonen dat inzet van biobased grondstoffen een versterkende betekenis heeft voor people, planet en profit en bijdraagt aan de realisatie van maatschappelijke behoeftes	De inzet van biobased grondstoffen voor de verschillende economische functies is gebaseerd op de eisen die de samenleving heeft geformuleerd voor deze inzet. De samenleving heeft vertrouwen dat een circulaire economie kan worden vervuld met de bijdrage van biobased grondstoffen zonder noodzaak voor inzet van fossiele grondstoffen	Onderzoek naar instrumentarium om marktvrage naar circulaire, biobased producten te vergroten	x					
		Onderzoek naar instrumentarium om consumentenbewustzijn te verhogen						
		Onderzoek naar borging en kwaliteit en duurzaamheid van circulaire, biobased producten						
		Ontwikkeling van innovatieve kennis omtrent gedrag in relatie tot adoptie van nieuwe technologieën en concepten						

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

### 5.1.5 Doelen deelprogramma biobased grondstoffen

De doelen voor biobased grondstoffen inzet in de industrie zijn als volgt<sup>10</sup>:

- In 2030 zijn hoogwaardige productketens (niches, high-end) ingevuld door biobased koolstof.
- In 2050 wordt brede toepassing bereikt van biobased grondstoffen voor bulkchemicaliën met een totaal potentieel van 20% van het fossiele grondstoffenverbruik (circa 120 PJ)<sup>11</sup>.

Doelen voor biobrandstoffen in de transportsector zijn:

- In het wegtransport wordt in 2030 naast elektriciteit en waterstof een volume van maximaal 60 PJ hernieuwbare brandstoffen ingezet<sup>12</sup>. De binnenscheepvaart heeft 30% vervanging van fossiele brandstoffen door biobrandstoffen als doel [ca. 10 PJ]. De inzet van biobrandstoffen voor het wegtransport is in 2050 vergaand afgebouwd, met mogelijk een uitzondering voor zwaar wegtransport. De inzet voor lucht- en scheepvaart zal verder toenemen.
- De luchtvaartsector wil 14% biobrandstoffen inzetten [ca. 25-45 PJ]. Deze sector valt formeel niet onder het klimaatakkoord. Voor zeevaart zijn internationale afspraken gemaakt voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Nederland heeft in Europa de grootste internationale bunkermarkt. In 2017 is er voor 520 PJ gebunkerd. Ook deze sector valt formeel niet onder het klimaatakkoord. Voor een netto nul emissie doel in 2050, zal deze sector tussen 10-30% CO<sub>2</sub>-emissiereductie in 2030 moeten behalen. Afhankelijk van energie-efficiëntie en nieuwe technologie betekent dat tussen 50-150 PJ aan hernieuwbare brandstoffen. Daar is echter op dit moment geen instrumentarium voor of sturing op.

De bouwsector heeft in het OKA aangegeven groen gas te willen inzetten voor vervanging van aardgas voor warmte in de gebouwde omgeving.<sup>13</sup>

## 5.2 Stand van zaken

Het kabinet is ervan overtuigd dat de inzet van biobased grondstoffen nu en richting 2030 en 2050 noodzakelijk is voor de verduurzaming van onze economie en het realiseren van de klimaatopgave<sup>14</sup>. Daarbij is de visie geformuleerd dat biobased grondstoffen op termijn primair moet worden ingezet voor die toepassingen waarvoor nauwelijks of geen andere duurzame en hernieuwbare alternatieven beschikbaar zijn. Die toepassingen zijn chemicaliën/materialen en transportbrandstoffen voor modaliteiten waarvoor geen andere duurzame oplossingen beschikbaar zijn (luchtvaart, zeescheepvaart en mogelijk ook zwaar wegtransport). Richting 2030 moet hiermee al rekening worden gehouden.

Zo kan de verdere ontwikkeling en implementatie van geavanceerde brandstoffen voor het wegtransport tot 2030 een belangrijke bijdrage leveren aan het verlagen van CO<sub>2</sub>-emissies als gevolg van verbranding van conventionele brandstoffen, omdat de marktabsorptie van elektrische aandrijflijnen tijd vergt vanwege het uifasieren van het huidige wagenpark. Richting de verdere

<sup>10</sup> Bronnen; OKA en IKIA. Echter, fossiele grondstoffengebruik voor industrie bedraagt 600 PJ, 20% vervanging is dan 120 PJ (in IKIA staat 190 PJ).

<sup>11</sup> Kringloopsluiting zal nooit volledig en op hetzelfde kwaliteitsniveau mogelijk zijn. Daarom zal ook in 2050 nieuwe koolstof nodig zijn. Naar verwachting kan circulariteit uiteindelijk voor 80% nieuw koolstofgebruik vervangen, en is 20% nieuwe koolstof ofwel 190 PJ nodig.

<sup>12</sup> OKA (p.59): "Om de afgesproken klimaatdoelstellingen te realiseren wordt naast de inzet van elektriciteit en waterstof, maximaal 27 PJ hernieuwbare brandstoffen in het wegverkeer bovenop het 2030 scenario van de Nationale Energieverkenning (NEV) 2017 ingezet." In de NEV2017 staat 33 PJ biobrandstoffen vermeld (tabel 10 Verkeer en vervoer, pag. 227)

<sup>13</sup> De groengassector heeft de ambitie om 70 PJ groen gas te realiseren in 2030, waarvan een substantieel deel kan worden ingezet in de gebouwde omgeving (direct invoeden in het gasnet, via hybride warmtepomp of via warmtenetten). De ambitie is om in 2030 uit te komen op een kostenniveau van €100-€150 per vermeden ton CO<sub>2</sub>. De groen gas sector zelf ziet ook mogelijkheden voor afzet in de transportmarkt of als platform molecuul in de chemische industrie. Daarom wordt er in deze MMIP ook naar innovatieopgaves voor deze richtingen gekeken.

<sup>14</sup> Strategische visie voor de inzet van biobased grondstof op weg naar 2030, Min. EZK, 2016

toekomst kan daarna relatief eenvoudig de koers verlegd worden naar chemie en lange-afstand-transport-modaliteiten.

In het maatschappelijke domein leven verschillende zorgen over biobased grondstoffen, over onder meer de beschikbaarheid van biobased grondstoffen en de duurzaamheid van de biogebaseerde ketens. Dit debat is nogal versmald naar houtpellets, een bijproduct uit de houtindustrie. Dat heeft invloed op het maatschappelijk draagvlak. Bedrijven en overheden zijn terughoudender geworden met nieuwe initiatieven op dit vlak. Tegelijkertijd worden er voortdurend stappen gezet om de duurzaamheid verder te waarborgen. Voor biobrandstoffen zijn al sinds de eerste Richtlijn hernieuwbare energie (2009) Europese duurzaamheidscriteria van kracht, die in 2015-2019 verder zijn aangescherpt. Europa stelde destijds nog geen duurzaamheidscriteria voor biobased grondstoffen voor elektriciteit en warmte vast. Nederland heeft duurzaamheidseisen verplicht gesteld in de SDE-subsidievoorwaarden voor de inzet van vaste biobased grondstoffen voor energie. Met de ingang van de Herzene Richtlijn hernieuwbare energie (RED2) voor de periode 2021-2030 stelt ook de Europese Unie duurzaamheidseisen verplicht voor alle vormen van energie.

Nederland zet nog een extra stap om de duurzame inzet van biobased grondstoffen te borgen. Waar de Europese regelgeving betrekking heeft op inzet van biobased grondstoffen voor energie, ontwikkelt Nederland in het kader van het klimaatakkoord een breed duurzaamheidskader voor alle toepassingen van biobased grondstoffen. Daarnaast worden acties uitgezet om meer zicht te krijgen op de beschikbaarheid van biobased grondstoffen in Nederland en in het buitenland, en om de beschikbaarheid van biobased grondstoffen verder te vergroten. Tegelijkertijd is de overheid terughoudend, biobased grondstoffen wordt kritisch gemonitord.<sup>1516</sup>

#### *Biobased grondstoffen voor producten*

De grote spelers in de Nederlandse chemische industrie zijn bezig met de ontwikkeling en implementatie van biobased grondstoffen. DSM ontwikkelde de technologie voor barnsteenzuur dat door Roquette onder licentie van DSM in Italië geproduceerd wordt. De joint venture POET is opgezet om bioethanol in de VS te produceren. In Nederland produceert DSM polyamide 4.10 (Ecopaxx®) en copolyester (Arnital® Eco). Sabic en DOW produceren polyethyleen via het bijmengen van bionafta in hun krakers. Shell, Nouryon, Air Liquide, Havenbedrijf Rotterdam en Enkema (CA) werken samen in het Waste to Chemicals en biofuels project, dat beoogt 220 kton biomethanol te produceren uit afval via vergassing. OCI gaat starten met de bouw van een biogasinstallatie die jaarlijks 700 kton mest verwerkt tot 40 miljoen m<sup>3</sup> biogas bestemd voor de kunstmestproductie. Van oudsher is de zetmeelindustrie (Cargill, Avebe) een belangrijke leverancier van producten die non-food toepassingen hebben die een alternatief zijn voor fossiel gebaseerde chemicalien. De suikerbiet met haar hoge productiviteit per hectare en de suikerindustrie (Cosun) kan een belangrijke bron van grondstoffen worden voor verdere conversies. Corbion is wereldmarktleider op het gebied van de productie van melkzuur, de bouwsteen van PLA. Andere producenten van biobased bouwstenen zijn onder meer CRODA en Rodenburg Biopolymers. Avantium is een belangrijke technologie-ontwikkelaar met pilot plants in Geleen (productie FDCA/PEF) en Delfzijl (productie van hoogwaardige suikers en lignine uit resthout; tevens in aanbouw een demoplant voor productie van biobased monoethyleenglycol). De verbinding tussen de chemie en agrosector wordt steeds sterker en de agroverwerkende industrie gaat in toenemende mate ook chemische bouwstenen produceren. Een voorbeeld hier van is Cosun dat o.a. kijkt naar de verwaarding van suikerbietresiduen naar biobased chemicalien en voedingsingredienten.<sup>17</sup>

Daarnaast zijn er producenten van biobased verpakkingsmaterialen en bouwmaterialen. Een overzicht hiervan is te vinden in de Catalogus Biobased Verpakkingen (WUR, 2014) en de Catalogus Biobased Bouwmaterialen (WUR, 2019).

---

<sup>15</sup> OKA, Biobased grondstof paragraaf.

<sup>16</sup> Voor een beschrijving van de huidige stand van zaken met betrekking tot de inzet van biomassa in de circulaire economie, zie: <https://www.biobasedeconomy.nl/wp-content/uploads/2019/05/190425-Biomassa-voor-de-circulaire-economie.pdf>

<sup>17</sup> [www.pulp2value.eu](http://www.pulp2value.eu)

### *Vloeibare biotransportbrandstoffen*

Nederland beschikt over ca. 100 PJ aan productiecapaciteit voor vloeibare biobrandstoffen. De jaarlijkse productie bedraagt ca. 60 PJ, waarvan het merendeel wordt geëxporteerd. De reden dat de capaciteit niet op vollast draait, is gelegen in een beleidswijziging in de RED. Met name de biodiesel installaties zijn gebouwd voorafgaand aan de publicatie van de RED (eind vorige decennium) op de verwachte productiecapaciteit in 2020. Omdat daarna de mogelijkheid tot (administratieve) dubbeltelling werd ingevoerd voor waste-based biobrandstoffen was het effect dat er in absolute zin minder biobrandstoffen hoefden te worden geproduceerd. Dit heeft geresulteerd in onderbenutting van de capaciteit. Overigens produceren de HVO fabriek van Neste en Alco Energie Rotterdam fabriek wel op volle capaciteit. Neste heeft enige tijd geleden door een technische innovatie de productiecapaciteit weten uit te bouwen van 800 duizend ton naar 1 miljoen ton per jaar, zonder uitbreiding van de installatie.

Er zijn diverse biodieselfabrieken (FAME), die veelal gebruikt frituurvet en dierlijke vetten als grondstof gebruiken. In Rotterdam staat de grootste Europese ethanolfabriek waar uit voedermais zowel veevoer (ongeveer 400 kt/jr, ethanol (520 miljoen liter/jr) als elektriciteit wordt gemaakt. De vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt aan de glastuinbouw geleverd (ongeveer 400 Kton/jr) en kan daarmee aangemerkt worden als een commercieel CCU-project. In Rotterdam staat ook één van de drie Neste fabrieken die hernieuwbare, synthetische diesel produceert (1,2 miljard liter/jr, komt overeen met ca 44 PJ/jr).

De markt van biobrandstoffen is zeer internationaal. De in Nederland geproduceerde biobrandstoffen worden grotendeels geëxporteerd, terwijl de binnenlandse consumptie vooral geïmporteerd wordt vanuit andere EU-landen en de VS. Inmiddels zijn alle biobrandstoffen die diesel vervangen op de Nederlandse markt afkomstig van afval- en reststromen. Ethanol wordt op basis van (vooral Europese) landbouwgewassen gemaakt. Biogas op basis van reststromen maakt nog maar een klein deel van de totale inzet hernieuwbare energie uit <sup>18</sup>.

De nieuwe Richtlijn hernieuwbare energie (RED2) beoogt een aandeel hernieuwbare energie in transport van ten minste 14% te realiseren. De inzet van biobrandstoffen op basis van voedsel/veevoergewassen wordt beperkt tot maximaal 7%, daarnaast komt er ook een limiet op biobrandstoffen van RED2-Annex IX-B grondstoffen (gebruikt frituurvet en dierlijke vetten)<sup>19</sup>. De beoogde toename van het aandeel hernieuwbare energie wordt verwacht van de groei van geavanceerde biobrandstoffen (RED2-Annex IX-A)<sup>20</sup> en hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong<sup>21</sup>. Om het verplichte volume te kunnen leveren zal volgens berekeningen in Europa circa €15-20 miljard aan investeringen nodig zijn voor het uitbreiden van de benodigde productiecapaciteit voor geavanceerde biobrandstoffen.

De verplichting levert de markt in principe enige investeringszekerheid, maar investeerders blijven terughoudend uit angst voor mogelijke beleidswijzigingen. Deze hebben in het verleden forse negatieve effecten gehad op de biobrandstoffenmarkt, met sluiting van fabrieken en productie op ondercapaciteit tot gevolg.

---

<sup>18</sup> Totaal wordt (fysiek, dus zonder enige dubbeltelling) 19,4 PJ geleverd aan Nederlands transport: 19,4 PJ. Aandeel vloeibare biobrandstoffen (ethanol, fame, HVO, methanol, ETBE): 98,69%, biogas 1,16%, hernieuwbare elektriciteit 0,15%. Zie NEA, 2018, Rapportage energie en Vervoer in Nederland 2017. Het fysieke aandeel van hernieuwbare energie in transport was dus 19,4 PJ op totaal van 427 PJ = 4,5%. (427 PJ is gebaseerd op wat de verplichte partijen in de markt leveren, kleine leveranciers zijn hier van uitgezonderd; het cijfer heeft betrekking op weg- en railtransport, niet op binnenvaart, luchtvaart en non-road mobile - zo is dit in RED vastgelegd - het getal wijkt dus af van het totale energieverbruik op Nederlands territorium, dat volgens CBS op ca. 490 PJ ligt).

<sup>19</sup> Zie <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>, pagina 123.

<sup>20</sup> In deze energierichtlijn RED is aangegeven dat een brandstof bestempeld wordt als een geavanceerde biobrandstof als deze is geproduceerd van een grondstof die is opgenomen in de lijst die in annex IX-A van die richtlijn staat vermeld. Dat betreft afval- en reststromen.

<sup>21</sup> Zoals synthetische brandstoffen

### *Biogas en groen gas*

Biogas wordt in Nederland geproduceerd via vergisting van organische reststromen, mest en zuiveringslib ('natte biobased grondstoffen'). Het primaire product, biogas, bestaat vooral uit methaan (circa 60%) en CO<sub>2</sub>. Voor een aantal toepassingen kan biogas direct worden ingezet. Voor injectie in het aardgasnet dient het CO<sub>2</sub> grotendeels verwijderd te worden uit het biogas, het eindproduct van dit proces heet groen gas. De vrijkomende CO<sub>2</sub> vindt zijn weg naar de markt voor droogijs. Groen gas kan ook in transport ingezet worden ter vervanging van compressed natural gas (CNG) of liquified natural gas (LNG). In Nederland werd in 2018 circa 3,2 PJ groen gas geproduceerd en 7,6 PJ biogas dat in een WKK in energie werd omgezet<sup>22</sup>.

Groen gas kan ook geproduceerd worden via vergassing van biobased grondstoffen ('droge biobased grondstoffen'). Een consortium van ECN part of TNO, Dahlman Renewable Technologies, Engie en Gasunie is voornemens de eerste demonstratieplant in Nederland te bouwen. Daarnaast wordt het concept van superkritische vergassing op twee plekken in Nederland gerealiseerd.

### *Pyrolyse-olie*

BTG heeft in Nederland met succes het pyrolyseren van biobased grondstoffen naar commercieel niveau gebracht. De Empyro installatie van Twence in Hengelo produceert pyrolyse-olie, die daarna wordt gebruikt voor stoomproductie bij FrieslandCampina in Borculo. Recent heeft een Fins bedrijf een pyrolysefabriek gekocht bij BTG. Er zijn plannen voor de aanschaf van nog drie fabrieken, die in Nederland worden gebouwd (Zeton) en daarna verscheept worden naar Finland. Pyrolyse-olie kan via hydrogenering ook geschikt gemaakt worden voor co-processing in naftakrakers voor de productie van kunststoffen. Vanuit de petrochemie is onder meer Sabic bij deze ontwikkeling betrokken. Ook in het buitenland wordt pyrolyse-olieproductie verkend/gedemonstreerd (o.a. India, Noorwegen, UK).

### *BECCS*

Een belangrijke route om negatieve emissies te realiseren is Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS). Een voorbeeld hiervan is de afvang en opslag van CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van biobased grondstoffen in ketels of centrales, bij afvalverbranding of bij de productie van bepaalde biobrandstoffen voor de transportsector. Met name de fermentatie van biobased grondstoffen tot ethanol levert een vrij zuivere CO<sub>2</sub>-stroom op. In Nederland vangt Alco Energy in Rotterdam al CO<sub>2</sub> af uit de bioethanolproductie voor levering aan de glastuinbouw<sup>23</sup>. Het Illinois Industrial CCS project betreft een bio-ethanolplant in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag met een capaciteit van 1 Mton per jaar. De Mikawa elektriciteitscentrale in Japan draait sinds 2017 volledig op biobased grondstoffen en verwacht in 2020 de vrijkomende CO<sub>2</sub> op te slaan. BECCS wordt ook behandeld in het hoofdstuk CCS, voor wat betreft de afvang van CO<sub>2</sub>.

## 5.3 Innovatieopgaven

In het recente verleden zijn er heel wat onderzoeksagenda's en roadmaps verschenen rond de inzet van biobased grondstoffen.<sup>24</sup> Centraal staat verdere ontwikkeling van bioraffinagetechnologie, die de basis vormt voor gecascadeerd gebruik van biobased grondstoffen. Via bioraffinage wordt de biobased grondstoffen gescheiden in een aantal deelstromen. Deze deelstromen kunnen dan weer op maat ingezet worden voor de coproductie van chemicaliën, materialen en energiedragers. Voor biobrandstoffen is de komende tien jaar behoefte aan opschaling en uitbreiding van productiecapaciteit nodig voor 'geavanceerde' biotransportbrandstoffen.

Biobased grondstoffen voor de industrie is vooral voor onderstaande toepassingen prioritair (bron: Onderzoeksagenda biobased economy 2015-2027, TKI-BBE).

<sup>22</sup> Bron: RVO, inschatting op basis van SDE en OVMEP. Een aantal groengasproducenten kiest er voor om niet van de SDE gebruik te maken maar hun GVO's om te zetten naar HBE om die in de wegtransport in te zetten voor de bijmengverplichting, dit is geen onderdeel van deze cijfers.

<sup>23</sup> CO<sub>2</sub>-levering aan de glastuinbouw is een vorm van CCU, die in het deelprogramma CCU wordt beschreven.

<sup>24</sup> Meest recent zijn de 'Onderzoeksagenda Biobased Economy 2015-2027' van het TKI BBE en de 'Contouren Routekaart Hernieuwbare Gassen 2050' van de Topsector Energie op nationaal niveau. En op EU-niveau de 'Strategic Innovation and

- Hoogwaardige en complexe moleculen, waarvoor de chemische synthese op basis van fossiele bronnen of CO<sub>2</sub> zeer energie-intensief is (niches, high-end)
- Moleculen met een koolstofskelet groter dan C<sub>4</sub> en aromaten, diolen, dizuren. Kleinere moleculen zullen meestal economisch minder aantrekkelijk zijn.
- Polymeren zoals bio-PET, PEF, bio-PE/PP, PLA en PHA en op lignine gebaseerde thermoplasten. Naast recycling van kunststoffen zal naar verwachting altijd ca. 20% nieuwe koolstof toevoeging nodig zijn, biopolymeren lenen zich daar goed voor (en kunnen zelf ook gerecycled worden).
- Duurzame, geavanceerde biobrandstoffen voor verschillende toepassingen. Voor deze toepassingen is het van belang te komen tot verlaging van de productiekosten, het verhogen van energetische rendementen en verlaging van de CO<sub>2</sub>-footprint van well-to-tank ketens voor biobrandstoffen.
- Recyclebare bouwmaterialen, vanwege de lange levensduur vormen zij een vorm van koolstofopslag.
- Er is veel aandacht voor thermoplasten, maar ook de thermoharders moeten verduurzamen.
- Cellulose-based polymeren, lignine based polymeren, zetmeel-based polymeren
- Lignocellulosevezels voor biocomposieten

Naast het ontwikkelen, demonstreren en opschalen van biobased producten is het mobiliseren van duurzame biobased grondstoffen de grote opgave voor het komend decennium. Deze opgave heeft een cross-disciplinaire aanpak nodig om te komen tot duurzame en sociaal eerlijke waardeketens. De vraag naar feedstock vanuit de industrie en het aanbod vanuit de land- en bosbouw vinden elkaar onvoldoende. In Oost-Europa kan nog veel winst geboekt worden in het vergroten van de landbouwefficiëntie en het benutten van reststromen, maar deze landen ervaren onvoldoende vraag naar hun gewassen.

Een andere belangrijke strategie is om ook naar kleinschalige (lokale en decentrale) verwerkingsconcepten voor biobased grondstoffen te kijken, economy of numbers in plaats van economy of scale. Op deze schaal kan het eenvoudiger zijn om reststromen te mobiliseren voor verdere verwerking tot een tussen- of eindproduct. Verder is het sluiten van kringlopen (mineralen, water etc.) eenvoudig te realiseren, zijn de benodigde initiële investeringen lager, de risico's kleiner, het draagvlak bij betrokken stakeholders groter en derhalve een succesvolle marktimplementatie kansrijk. Een gedegen LCA is hier wel van belang om ook de ecofootprinteffecten van de installaties mee te nemen.

De innovatieopgaven die hieruit voortvloeien zijn ingedeeld naar drie lijnen: 'ontwerp voor circulariteit', 'circulaire grondstoffen en processen' en 'vertrouwen, gedrag en acceptatie'.

### 5.3.1 Innovatieopgaven ontwerp voor circulariteit

#### **Mobilisatie van duurzame biobased grondstoffen**

Hierbij valt te denken aan de duurzame aanwending van een breed scala aan agro-residuen, procesresiduen en gewassen geteeld op marginale gronden. Via lokale conversie kunnen die in een aantal biocommodities (bijv. pellets, pyrolyse-olie) worden omgezet, die vanwege hun hoge energiedichtheid efficiënt kunnen worden getransporteerd, en vanwege hun hoge kwaliteit kunnen worden aangewend in een variëteit aan toepassingen, in meer centraal gelegen conversiefaciliteiten. De innovatieopgaven hebben betrekking op:

- Cross-disciplinaire en cross-sectorale ontwikkeling van duurzame en sociaal eerlijke biobased-grondstof waardeketens, waarbij dit ook op fossiele ketens wordt toegepast. Wanneer duurzaamheidscriteria voor de productie/wining eenzijdig op biobased en niet op fossiele grondstoffen worden toegepast, ontstaat immers een ongelijk speelveld dat de transitie belemmert.
- Cascaderingsconcepten voor biobased grondstoffen, inclusies ontwerp van adaptief instrumentarium

---

Research Agenda' van JTI BBI, de 'Strategic Research and Innovation Agenda's' van ETIP Bioenergy, het SET-plan van de Europese Commissie, de Technology Roadmap Delivering Bioenergy van IEA Bioenergy en EERA Bioenergy.



- Logistiek voor biobased grondstoffen, inclusief ruimtelijke inpassing
- Ontwikkeling nieuwe circulaire business modellen voor biobased producten.
- Ontwikkeling decentrale bioraffinage business modellen, incl. stakeholder involvement.
- Onderzoek naar methodieken om de footprint van producten en processen te bepalen. Huidige LCA-analyses honoreren de CO<sub>2</sub> die is opgeslagen in biobased producten niet eenduidig.

#### **Ontwikkelen van voorbereidingstechnieken die gecascadeerd gebruik van biomassa mogelijk maken.**

- Voorbehandelingstechnieken voor biobased grondstoffen en met name voor heterogene reststromen op verschillende schaalniveaus, alsmede de duurzame productie biocommodities (hoge energiedichtheid, hoge kwaliteit) voor brede toepassing in de biobased economie.
- Grondstoffractionering, mineralenterugwinning, opwaardering laagwaardige reststromen

### 5.3.2 Innovatieopgaven circulaire grondstoffen en processen

#### **Bioraffinage en conversie van biobased grondstoffen naar chemicaliën, materialen, transportbrandstoffen en energie.**

- Thermochemische conversie naar biogas, groen gas, (pyrolyse)olie voor energie én chemie, inclusief de opwerking tot de gewenste kwaliteit/specificaties.
- Chemisch-katalytische en biotechnologische conversie naar biogas, groen gas, nieuwe biobased bouwstenen (o.a. naar PLA, PHA, FDCA/PEF, organische (di-)zuren, diolen, glycolen (o.a. MEG/MPG), bio-aromaten) en producten op basis daarvan.
- Realisatie van 3 (bio)raffinagecomplexen voor coproductie van componenten voor chemie (materialen) en brandstoffen.
- Toepasbaar maken van biobased bouwmaterialen voor grootschalige uitrol.
- Ontwikkeling van bioraffinage concepten voor biochemicaliën en biofuels in combinatie met BECCS.
- Ontwikkeling van lokale decentrale bioraffinageconcepten (economy-of-numbers)
- Ontwikkeling van een op demoschaal functionerend opwerkingsproces voor biobased koolstof met gewenste specificaties als reductiemiddel voor staalindustrie

#### **Geavanceerde biotransportbrandstoffen**

- Opschaling en uitbreiding van productiecapaciteit voor 'geavanceerde' biotransportbrandstoffen.
- Doorontwikkeling en implementatie van dedicated fuels voor scheep- en luchtvaart.

### 5.3.3 Innovatieopgaven vertrouwen, gedrag en acceptatie

- Onderzoek naar instrumentarium om marktvraag naar circulaire, biobased producten te vergroten en daarmee ook de investeringsbereidheid te vergroten.
- Onderzoek naar instrumentarium om consumentenbewustzijn te verhogen.
- Onderzoek naar borging van kwaliteit en duurzaamheid van circulaire, biobased producten.
- Ontwikkeling van innovatieve kennis omtrent gedrag in relatie tot adoptie van nieuwe technologieën en concepten.

## 5.4 Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie

*Algemene groepsvrijstellingsverordening belemmert steun aan demonstratieprojecten voor biobased producten en biobrandstoffen*

Een belangrijk knelpunt in het huidige innovatie-instrumentarium is dat **demonstratieprojecten** voor biobased producten en biobrandstoffen niet passen binnen de algemene groepsvrijstellingsverordening. Dit kader bepaalt dat alleen subsidie verstrekt kan worden aan de partij die het milieuvoordeel realiseert. Dit levert de volgende knelpunten op:

- Biobased producten: het milieuvoordeel in termen van CO<sub>2</sub>-besparing wordt pas bij de eindverwerker gerealiseerd (bv de AVI als biogeen afval wordt verbrand). Bij bioraffinageprojecten die door een consortium worden uitgevoerd waarbij voorbewerking in fracties gevolgd wordt door conversie door meerdere partijen, is het directe CO<sub>2</sub>-emissievoordeel veelal beperkt tot de fractie die in energie wordt omgezet. Maar de innovatie zit juist bij de voorbewerking en de conversie van biobased-grondstofstromen naar hoogwaardige toepassingen.
- Biobrandstoffen: steun aan demonstratieprojecten die meetellen voor de jaarverplichting van de RED, bedoeld in artikel 41 van de AGV, is uitgesloten. In het geval van biobrandstoffen vormt dit niet echt een knelpunt, omdat de marktvraag via de jaarverplichting al groot is en er voor de exploitatiefase van geavanceerde brandstoffen gewerkt wordt aan SDE++.

#### *Restricties op DEI-regeling*

De DEI-regeling ondersteunt pilot- en demonstratieprojecten. Behalve de uitsluiting die hierboven beschreven is, is er nog een belangrijk knelpunt. De looptijd van een pilot- of demonstratieproject dat valt onder de categorie CO<sub>2</sub>-reductie in de industrie mag niet langer zijn dan 1 jaar, en het project moet aan het einde van het kalenderjaar afgerond zijn (kosten gemaakt en betaald). Bij dit type projecten gaat het om investeringen van vaak tientallen miljoenen Euro's. Het zijn risicovolle projecten die een gedegen voorbereiding vergen, en er is ook tijd nodig voor besluitvorming binnen de bedrijven zelf voor dit soort investeringen. De restrictie op de looptijd maakt dit instrument ongeschikt voor de benodigde projecten in dit deelprogramma.

#### *Bestendigheid beleid ten aanzien van biobased grondstoffen*

Nederland ontwikkelt in het kader van het klimaatakkoord een breed duurzaamheidskader voor alle toepassingen van biobased grondstoffen. Daarnaast worden acties uitgezet om meer zicht te krijgen op de beschikbaarheid van biobased grondstoffen in Nederland en in het buitenland, en om de beschikbaarheid van biobased grondstoffen verder te vergroten. Tegelijkertijd stelt de overheid zich terughoudend op. Voor de investeringen in productiecapaciteit voor chemicaliën, materialen en transportbrandstoffen heeft de industrie te maken met vigerende tijdlijnen voor vergunningverlening, engineering en bouw van installaties (8-12 jaar). Het gebrek aan zekerheid over de positie van de overheid ten aanzien van biobased grondstoffen op de lange termijn vormt daarmee voor de industrie een onzekere factor die besluitvorming over investeringen negatief zal beïnvloeden. Om investeringen in productiecapaciteit terug te kunnen verdienen, zal de overheid meer lange termijn zekerheid moeten bieden.

Een punt van zorg dat hieraan gerelateerd is, vormen de accentverschillen in de visie op biobased grondstoffen tussen de departementen. Voor optimale inzet van biobased grondstoffen is verwaarding van het hele gewas nodig, waarbij voor elk gewas en elke component de meest optimale combinatie van toepassingen moet worden gevonden. LNV focust op de verwaarding van reststromen voor voedseltoepassingen, waarmee de aansluiting tussen MMIP 6 en MMIP 11 niet geborgd is.

#### *Investeringsklimaat versterken voor biobased industrie.*

Opschaling en marktintroductie van biobased producten, transportbrandstoffen en groen gas komt maar moeizaam van de grond. De risico's bij de investeringen in nieuwe biobased productiecapaciteit zijn hoog. De markt is nog onzeker, het overheidsbeleid is onvoldoende bestendig, de technologie nog niet vergaand geoptimaliseerd en de kostprijs van de biobased producten is meestal hoger dan van de fossiele counterpart vanwege schaalgroote en volwassenheid van de technologie.

Eerste fabrieken blijken vaak nog niet goed te functioneren wat leidt tot aanscherping van investeringseisen voor volgende fabrieken. In een overgangperiode (het begin en midden van de S-curve) is het nodig om de investeringen die bijdragen aan de transitie aan te jagen. Die stimulans kan in de fase van institutionalisatie ('het nieuwe normaal') afgebouwd worden, mits gemaakte afspraken gerespecteerd worden. In deze fase zouden de omstandigheden gecreëerd moeten zijn op basis waarvan circulaire businesscases op eigen benen kunnen staan.

Daarnaast ervaren bedrijven dat het investeringsklimaat in Nederland soms minder gunstig is dan in het buitenland. Investeringen in technologische concepten die met Nederlandse steun voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie zijn ontwikkeld dreigen in het buitenland te landen.

Er is behoefte aan een publiek-private taskforce die instrumenten op hun effect, haalbaarheid en draagvlak gaat toetsen. Voorgesteld wordt om bedrijfsleven, banken, pensioenfondsen, Rijksoverheid, lagere overheden en EU fondsbeheerders gezamenlijk voorstellen te laten ontwikkelen voor interventies gericht op het structureel verbeteren van het investeringsklimaat voor biobased industrie.

## 5.5 Stakeholders/ actoren

Biobased grondstoffen is een dwarsdoorsnijdend thema in het klimaatakkoord. Hoewel dit deelprogramma zich richt op biobased-inzet van biobased grondstoffen door de industrie, is samenwerking nodig tussen stakeholders eerder in de keten (agrifoodsector, verwerkers van rest- en afvalstromen waaronder ook de waterschappen), verderop in de keten (afnemers zoals de kunststofverwerkende industrie) en in andere ketens zoals elektriciteitsproductie, bouw en mobiliteit. Afgelopen decennia is door de overheid sterk en succesvol ingezet op netwerkontwikkeling in de biobased economy. Binnen het topsectorenbeleid vervult het TKI-BBE een spilfunctie en vindt nauwe samenwerking plaats met de topsectoren Chemie, Energie en Agri&Food. Biomassa en voedsel is ook één van de vijf speerpunten in het circulaire economiebeleid. Binnen de overheid werken de ministeries van EZK, LNV en I&W nauw samen.

## 5.6 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

Nederland is goed gepositioneerd voor de verwerking van biobased grondstoffen. Nederland heeft uiterst competitieve havens, een sterk agrifood cluster, koplopers in de chemische industrie op het vlak van biobased en recycling en een sterke logistieke sector. Nederlandse bedrijven behoren tot de mondiale voorhoede op het gebied van duurzaamheid en innovatie. Ook voor de petro- en bulkchemie blijven er goede perspectieven, mits deze sectoren versneld gaan inzetten op het gebruik van hernieuwbare grondstoffen zoals recyclaat, zoals ook verwoord in de VNCI-routekaart 2050. De Ellen MacArthur foundation heeft berekend dat het gebruik van kunststoffen in 2050 meer dan 1100 Mton zal bedragen. Stel dat 10% verlies optreedt doordat het niet lukt om tot 100% hergebruik en recycling te komen, dan gaat dat om 110 Mton. Suppletie met de meest duurzaam verkrijgbare grondstoffen moet dan een belangrijke rol gaan spelen. De inzet van biobased grondstoffen is zeker de komende decennia een belangrijke snel opschalbare optie. Dit betekent ook dat de kunststoffen en materialen beter gebruik moeten gaan maken van de inherente functionaliteit van biobased grondstoffen, dus veel meer polyesters en polyamides dan polyolefinen. Vanzelfsprekend is een gedegen instrumentatie om de ecofootprint van de verschillende opties tegen elkaar af te wegen van essentieel belang voor het maken van de juiste keuzes.

De transitie naar een circulaire economie speelt zich af op alle geografische schaalniveaus. Nederland is zowel een grote importeur als exporteur van biobased grondstoffen en voedsel. Op alle niveaus zijn majeure veranderingen nodig. Dat kan alleen als er intensief in en tussen ketens wordt samengewerkt en er sprake is van inclusiviteit: naast de gevestigde ketenpartijen is ook het betrekken van nieuwe innovatieve spelers, maatschappelijke organisaties, burgers en decentrale overheden nodig. Een optimale keuze in schaalniveau zal voor elke (deel)sector of stroom verschillen: zo klein als mogelijk en zo groot als nodig.

### *Analyse innovatiesysteem*

Een analyse van het innovatiesysteem voor vergisting, vergassing en biobrandstoffen is uitgevoerd in het kader van de onderzoeksagenda TKI-BBE 2015-2027.

Voor vergassing werd in 2015 een stagnatie gesignaleerd in de opschaling, zowel in Nederland als mondiaal. Calorische valorisatie via vergassing gebeurt in Nederland via 1 vergassingsinstallatie bij Eska Graphic Board dat biogas produceert voor de eigen WKK. Opschaling van vergassing voor chemische toepassingen verloopt moeizaam, vanwege de hogere eisen waaraan het gas moet voldoen voor chemische toepassing in vergelijking met calorische toepassing. De opwerking van biogas naar groen gas is een grote technologische uitdaging. Ook de business case is zwak. In het buitenland verloopt opschaling ook nog moeizaam, de installaties kennen technische problemen en hebben eveneens problemen met de business case. Op het vlak van superkritische vergassing (waterig milieu, natte residuen) kent Nederland twee kleine demonstratieprojecten, die technisch nog

knelpunten ondervinden. Wanneer deze knelpunten kunnen worden opgelost is het een mooie technologie die ook tot een goede business case kan leiden.

Mest- en GFT vergisting zijn technisch gezien al redelijk uitontwikkeld. Met name de mineralenopwerking is nog onderwerp van onderzoek. Mestverwerking blijkt vooral op regionale schaal goed te werken, de boerderijschaal lijkt niet optimaal te zijn in relatie tot de benodigde investeringen en de complexiteit van de technologie. De business case is afhankelijk van SDE subsidie en zelfs dan is het nog erg lastig. Inmiddels wordt in Nederland ruim 0,5 miljard m<sup>3</sup> (~10PJ) gas (biogas + groen gas) geproduceerd. Er is potentieel voor verdere opschaling, aandachtspunt blijft echter de business case. Op internationaal vlak zijn Duitsland en het Verenigd Koninkrijk koploper, Nederland loopt voor waar het gaat om inzet van laagwaardige feedstock.

De biobrandstoffenmarkt is afhankelijk van de biobrandstofverplichting en de mate waarin deze verplichting langetermijnzekerheid geeft. De productie van conventionele biobrandstoffen is in Nederland ver ontwikkeld (bio-ethanol, biodiesel en bio-LNG op basis van 1<sup>e</sup> generatie gewassen). Op het gebied van productie van geavanceerde biobrandstoffen uit reststromen kent Nederland een sterke kennispositie, maar nu moet de implementatie volgen om de verplichte doelen voor geavanceerde biobrandstoffen te behalen. Een interessante ontwikkeling in Nederland is de kleinschalige raffinage van suikerbiet tot bioethanol, tegen kosten van 55 ct/ltr, met een opbrengst die naar 10.000 liter/ha gaat. Deze ontwikkeling biedt de landbouw een extra toepassing voor suikerbiet, nu door het wegvallen van de suikerquota de suikerprijzen zijn gedaald. Hier vindt het omgekeerde van een energiesubsidie plaats, namelijk een accijnsheffing waardoor de businesscase verdwijnt<sup>25</sup>.

Voor biobased grondstofconversie in chemische bouwstenen en eindproducten is geen analyse beschikbaar. De kennispositie en kennisontwikkeling lijkt goed te zijn in Nederland, diverse ontwikkelingen zijn in 2019 in de hoge TRL-levels beland, zoals de productie van zetmeel- en zetmeelgebaseerde polymeren, PLA, PEF, co-feeding van bionafta in de krakers voor productie van PE, raffinage van natuur- en bermgras, het bioraffinageconcept van Avantium, RWE, Nouryon, Staatsbosbeheer (Dawn Technology), de productie van chemicaliën via algen uit water, CO<sub>2</sub> en licht door Photanol en Nouryon, de productie van monoethyleenglycol en de productie van MCFA (vetzuren) uit reststromen, bio-BTX en het gebruik van lignine in asfalt. De vraag naar biobased producten in de markt neemt licht toe, maar blijft toch nog te beperkt voor een snelle opschaling. De producten moeten in de markt concurreren met vergaand geoptimaliseerde producten gebaseerd op fossiele grondstoffen, terwijl er meestal geen premium prijs voor duurzame, biobased producten wordt betaald. Er is ook weinig instrumentarium vanuit de overheid dat gericht is op marktontwikkeling.

Waar energietoepassingen gestimuleerd worden via beleid en financieel ondersteund worden via de SDE, geldt dit niet voor biobased producten. Innovatie instrumentarium is veelal gericht op directe CO<sub>2</sub>-reductie, zeker voor de hogere TRL-levels.

## 5.7 Communicatie, leren en disseminatie

Het is van belang dat bedrijven en onderwijsinstellingen (van MBO tot en met Universiteiten) gezamenlijk kunnen werken aan vraagstukken die in deze MMIP zijn opgenomen. Het gaat om brede kennisopbouw bij opleidingen en bij bedrijven (van MKB tot multinationals). Dit vraagt om een investering in het ontsluiten van kennis en dedicated modules in onderwijsprogramma's. Een voorbeeld hiervan is de Learning Community Biofuels, die wordt ontwikkeld.

Voor een uitgebreid en actueel overzicht van de internationale status van bioraffinage, zie de website van IEA Bioenergy Task42 Biorefining ([www.task42.ieabioenergy.com](http://www.task42.ieabioenergy.com)) een internationaal kennis-

---

<sup>25</sup> Accijns op transportbrandstof wordt geheven op basis van volume. Dat benadeelt biobased alternatieven, zoals ethanol, dat per liter een lagere energieinhoud heeft. Het zou dus beter zijn om de accijns te beaseren op de CO<sub>2</sub>-intensiteit per eenheid energie – sturing vindt dan plaats op inzet van brandstoffen met de laagste CO<sub>2</sub>-implicaties.

/disseminatieplatform dat reeds meer dan 10 jaar door Wageningen Food and Biobased Research i.o.v. EZK (RVO) wordt gecoördineerd.

## 6 Deelprogramma 3: CCU

### 6.1 Programmatische aanpak

#### 6.1.1 Introductie

CO<sub>2</sub> kan als grondstof worden ingezet, we spreken dan van Carbon Capture and Utilization (CCU). CCU processen hebben betrekking op de afvang en eventueel concentratie van CO<sub>2</sub>, het transport (indien nodig), het gebruik van CO<sub>2</sub> als grondstof in producten en processen en de end of life situatie. Er is dus overlap met CCS (Carbon Capture and Storage) in het eerste deel van het traject. CO<sub>2</sub>-afvang wordt beschreven in het deelprogramma CCS.

Bij de productie van sommige producten zoals ijzer en staal komt naast CO<sub>2</sub> ook CO vrij via de restgassen. CO is reactiever en, omdat het meer energie bevat, ook waardevoller, dan CO<sub>2</sub>. Gebruik en verwerking van deze restgassen als grondstof komt ook specifiek in deze MMIP aan de orde.

Bij toepassing van CO<sub>2</sub> als grondstof kan onderscheid gemaakt worden naar direct gebruik en conversie van CO<sub>2</sub> tot nieuwe producten.

- Voorbeelden van direct gebruik zijn levering van CO<sub>2</sub> aan de glastuinbouw, het gebruik van CO<sub>2</sub> in de frisdrankindustrie en de inzet van CO<sub>2</sub> bij winning van fossiele brandstoffen (EOR).
- Bij conversie wordt CO<sub>2</sub> en CO als grondstof gebruikt voor de productie van chemische bouwstenen, brandstoffen, monomeren/polymeren of via mineralisatie voor de productie van constructiematerialen of het uitharden van beton.

#### 6.1.2 Doelen deelprogramma CCU

In de IKIA zijn geen specifieke, kwantitatieve doelstellingen voor CCU geformuleerd: “In Circulaire grondstoffen en producten worden kennis en innovaties ontwikkeld voor omzetting van CO<sub>2</sub> en CO uit proces- en verbrandingsgassen in grondstoffen en producten (Carbon Capture and Utilization, CCU), inclusief Direct Air Capture (DAC).”

DAC is onderdeel van het deelprogramma CCS, en wordt in dat hoofdstuk beschreven.

### 6.1.3 Ontwerp voor Circulariteit

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Methodieken voor bepalen footprint van CCU producten op systeemniveau	Klimaat en ecologische voordeel van CCU op systeemniveau bekend zodat gestuurd kan worden op integraal duurzame CCU processen	Bepaling van de duurzaamheid van CCU producten/processen op grond van een volledige LCA. Inclusief beter inzicht hoe de circulariteit van CCU producten en de bijbehorende procescondities beoordeeld en gemonitord kunnen worden zodat duurzaamheid in de volledige levenscyclus bereikt kan worden	x	x				Niet relevant
Systeemanalyse	Inzicht in de impact van CCU op andere sectoren en benodigde infrastructuur	Onderzoek naar de gevolgen van grootschalige implementatie van CCU. Dit moet inzicht opleveren in het potentiële effect van CU op andere systemen/opties (o.a. additionele vraag naar duurzame elektriciteit, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> ) en gerelateerde infrastructuur (o.a. inzicht in welke uitbreiding van infrastructuur nodig is vergelijking tot situatie zonder CCU).	x	x				Niet relevant

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

### 6.1.4 Circulaire Grondstoffen & Processen

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Duurzame processen voor hoogwaardige bulkchemicaliën op basis van CO <sub>2</sub>	Significante verbetering in CO <sub>2</sub> conversie technologieën m.b.t. energie en conversie efficiency, bewezen op	Doorontwikkeling en opschaling van processen voor de productie van bulk chemicaliën, met de nadruk op: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhogen energie en CO<sub>2</sub> conversie efficiency</li> <li>• Verlagen kapitaalskosten (CAPEX)</li> <li>• Testen onder industriële condities (o.a. gebruikmakend van CO<sub>2</sub> uit industriële processen, verontreinigingen, zoals bijvoorbeeld water en zwavelverbindingen, die effectiviteit van katalysatoren kunnen aantasten, variabele operatie)</li> </ul>	x	x	x		x	x

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
	pilot/demo schaal (1000 ton/jaar)							
	Doorontwikkeling naar TRL 4 van nieuwe technologieën voor omzetting van CO <sub>2</sub> om de ontwikkeling richting 2050 te versnellen	Fundamenteel onderzoek naar nieuwe conversie technologieën voor CO <sub>2</sub>	x	x	x	x		
Duurzame processen voor chemicalien op basis van CO uit de staalindustrie	Een eerste volledige installatie waarbij de restgassen op (pre)-commerciële schaal worden omgezet in verbindingen met toegevoegde waarde	Pilot/demo om waardevolle producten te maken uit restgassen van de staalindustrie	x	x	x			x
Mineralisatie van CO <sub>2</sub>	Grootschalig toepasbaar maken van CO <sub>2</sub> in bouwmaterialen	Verhoging van efficiency en reactiesnelheid van mineralisatieprocessen		x	x			x
		Vaststelling functionaliteit van gemineraliseerde producten in commerciële toepassingen		x	x			x

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



## 6.1.5 Vertrouwen, Gedrag & Acceptatie

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Duidelijkheid over rol CCU in beleid	Beleidsinstrumenten zijn ontwikkeld om implementatie van CCU producten te stimuleren	Ontwikkeling van beleidsinstrumenten in wet- en regelgeving ter stimulering CCU gebaseerde producten	x	x		Niet relevant		
Wegnemen van belemmeringen voor toepassing van op CO <sub>2</sub> gebaseerde producten	Grootschalig toepasbaar maken van op CO <sub>2</sub> gebaseerde roducten	Inpassen CCU producten in normen, maatschappelijke acceptatie	x	x		Niet relevant		

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

## 6.2 Stand van zaken CCU

Wereldwijd is de huidige industriële toepassing beperkt tot ca. 230 miljoen ton per jaar, ondanks het feit dat CO<sub>2</sub> in ruime mate beschikbaar is tegen lage kosten. Ter vergelijking, de mondiale uitstoot van CO<sub>2</sub> bedraagt circa 37 miljard ton per jaar. Echter, voor veel productieprocessen is een geconcentreerde en zuivere stroom CO<sub>2</sub> nodig. Bovendien zijn veel processen om CO<sub>2</sub> als grondstof te benutten nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. CO<sub>2</sub> wordt met name toegepast in enhanced oil recovery (circa 45 miljoen ton), daarnaast in de productie van methanol en urea (ca. 130 miljoen ton) in de bulkchemie, en als grondstof voor salicylzuuren en cyclische carbonaten<sup>26</sup>.

In Nederland wordt circa 1 Mton CO<sub>2</sub> gebruikt voor de productie van ureum, 0,02 Mton door de frisdrankindustrie en 0,6 Mton ton CO<sub>2</sub> wordt geleverd aan de glastuinbouw<sup>27</sup>. Waarbij de glastuinbouw aangeeft ca. 2,0 Mton CO<sub>2</sub> per jaar nodig te hebben voor een volledig klimaatneutrale energiehuishouding. Twence vangt CO<sub>2</sub> af uit de rookgassen van de AVI en zet dit om in natriumbicarbonaat, wat ingezet wordt voor de rookgasreiniging. Dit demonstratieproject bespaart 3 kton per jaar.

## 6.3 Innovatieopgaven

### 6.3.1 Innovatieopgaven ontwerp voor circulariteit

Ten aanzien van het ontwerp van circulaire ketens op basis van CO<sub>2</sub> zijn twee aspecten van belang: de duurzaamheid van de integrale CCU keten en de impact die toepassing van CCU heeft op andere sectoren en de eisen die het stelt aan benodigde infrastructuur.

De duurzaamheid van de integrale keten wordt niet alleen bepaald door de herkomst van CO<sub>2</sub>, de duur van de vastlegging van CO<sub>2</sub> in producten en de energie-efficiëntie van het CCU proces. Ook de herkomst en footprint van de benodigde energie en grondstoffen eerder in de keten (o.a. waterstof), het beslag op kritische grondstoffen voor katalysatoren en de neveneffecten verderop in de keten zijn van belang (zoals het uitsparen van aardgas voor CO<sub>2</sub>-dosering bij tuinders). Het ontwerp van circulaire CCU ketens is daarom van belang.

Grootschalige CCU processen kunnen ook een forse impact hebben op andere opties. Zo zal grootschalige productie van chemische bouwstenen leiden tot een forse additionele vraag naar duurzame elektriciteit en waterstof en gerelateerde infrastructuur. De inpasbaarheid en de afweging tussen de verschillende routes richting duurzaamheid is een systeemvraagstuk, en zal in nauwe samenhang met de andere MMIP's beschouwd moeten worden.

### 6.3.2 Innovatieopgaven circulaire grondstoffen en processen

Er zijn verschillende manieren om CO<sub>2</sub> als grondstof te benutten. Hieronder volgt een beschrijving, inclusief een kwalitatieve inschatting van het belang voor Nederland.

#### **Direct gebruik in glastuinbouw**

Op de korte termijn biedt het direct gebruik van CO<sub>2</sub> in de glastuinbouw kansen. De benodigde technologie wordt reeds commercieel toegepast en de vraag vanuit de glastuinbouw in Nederland bedraagt 1,4 Mton additionele CO<sub>2</sub> levering. Slechts een klein deel van de CO<sub>2</sub> wordt door de gewassen opgenomen. De besparing is indirect doordat tuinders minder aardgas verbranden voor CO<sub>2</sub>-dosering, vooral in de zomermaanden.

#### **Productie natriumbicarbonaat**

---

<sup>26</sup> Scientific Advice Mechanism, 'Novel Carbon Capture and Utilisation Technologies', Scientific Opinion 4/2018, European Commission

<sup>27</sup> Stuurgroep Glastuinbouw, 'Notitie Klimaatakkoord glastuinbouw' aangeboden aan de klimaat Tafel landbouw en landgebruik in december 2018.

Voor de productie van natriumbicarbonaat vanuit de afvalverwerking sector loopt één demonstratieproject, verdere opschaling is gewenst. In Nederland zijn circa 10 afvalverbrandingsinstallaties, in Europa zijn dat er 450. Voor een verdere uitrol is wel nog een optimalisatie nodig en het aanpassen van de techniek op de specifieke rookgassamenstelling van de beoogde verbrandingslijn. Daarnaast is behoefte aan risicoafdekking (op basis van de eerste demo kunnen niet meteen vergaande garanties worden verstrekt). De huidige TRL is 8/9.

### **Bouwmaterialen: cement/beton**

CO<sub>2</sub> kan direct gebruikt worden voor het uitharden van beton. Het CO<sub>2</sub> blijft in het product en wordt daarom beschouwd als permanent opgeslagen. De CO<sub>2</sub>-winst is beperkt, maar de technologie is relatief eenvoudig toepasbaar (TRL9). De productie van cement biedt ook kansen, zij het dat de klinkerproductie in Nederland wordt afgebouwd. Door het binden van CO<sub>2</sub> aan slakken en assen worden carbonaten gevormd. Hoogovenslakken worden al toegepast in de cementproductie, staalslakken nog niet. Onderzoek naar betere en snellere mineralisatieprocessen is nodig. CO<sub>2</sub>-besparingspotentieel mondiaal is hoog en de technologie is relatief goedkoop. De cementkwaliteit is relatief beter dan regulier cement (sterker), hetgeen indirecte voordelen oplevert omdat er minder cement gebruikt kan worden. Nadeel is dat de bouwmarkt met lage marges werkt en er geen incentives zijn om cement/beton op basis van CCU toe te passen. TRL 4-6 voor staalslakken.

### **Chemische bouwstenen en brandstoffen**

Om CO<sub>2</sub> om te zetten in chemische bouwstenen en producten is een viertal technologieroutes mogelijk:

1. Elektrochemische conversie, waarbij elektriciteit wordt gebruikt om CO<sub>2</sub> te reduceren. Hoe hoger de benodigde reductiegraad, hoe meer elektriciteit nodig is. In principe zijn voor de 6- en 8-electron reducties (naar methanol en methaan) de kosten van elektriciteit bepalend voor de business case. Bij 2-electron reducties (mierenzuur en koolmonoxide) en als de elektriciteit goedkoop is, geldt dat CAPEX bepalend wordt. Er zijn diverse routes, de meeste bevinden zich in de fase van toegepast onderzoek/pilots (TRL 4-6).
2. Katalytische conversie. Meestal wordt H<sub>2</sub> of NH<sub>3</sub> gebruikt om CO<sub>2</sub> te reduceren, als CO al aanwezig is hoeft dit natuurlijk niet. Eenvoudige reductie geeft CO, dat vervolgens met meer H<sub>2</sub> kan worden omgezet via Fischer-Tropsch synthese in synthetische brandstoffen en chemicaliën (power to liquid). Ook kunnen hoogwaardige producten zoals bijvoorbeeld methanol, DME (power to gas) worden geproduceerd. Directe omzetting van CO<sub>2</sub> is ook mogelijk. In dat geval wordt in één reactie stap meer H<sub>2</sub>O geproduceerd waardoor de noodzaak van goede scheidingstechnologie groter wordt. De beschikbaarheid van voldoende betaalbare H<sub>2</sub> bepaalt de business case, de ecofootprint van CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub> moet meegenomen worden in het bepalen van de overall ecofootprint van het beoogde eindproduct. Wereldwijd wordt aan diverse routes gemerkt, ontwikkelingen bevinden zich gemiddeld genomen op pilot schaal niveau (TRL 5-7).
3. Fotosynthetische conversie, waarbij licht (zonlicht, eventueel LED) wordt gebruikt. Er zijn twee verschillende varianten:
  - Vastlegging van CO<sub>2</sub> door algen en wieren. Na oogst kunnen via extractie de gewenste producten worden gewonnen. In feite is dit een biobased grondstof route, deze route wordt in dit deelprogramma daarom niet verder uitgewerkt.
  - Genetische modificatie van bacteriën, waarbij de bacteriën als katalysator gebruikt worden. Producten worden rechtstreeks geproduceerd, er is geen raffinage-stap nodig. TRL 6-7.
4. Fotokatalytische conversie, waarbij CO<sub>2</sub> rechtstreeks onder invloed van licht en een katalysator wordt omgezet. Deze ontwikkeling bevindt zich nog in de prille onderzoeksfase. TRL 1-3.

De impact op CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 van bovenstaande routes voor de productie van chemische bouwstenen en zal zeer beperkt zijn, omdat er dan nog niet voldoende duurzame elektriciteit in Nederland beschikbaar zal zijn. Omdat de inzet van CO<sub>2</sub> als grondstof voor de lange termijn een belangrijke bijdrage kan leveren aan verduurzaming van industrie en mobiliteit, is het van belang om in te zetten op het versneld ontwikkelen van de meeste kansrijke routes naar hogere TRL-niveaus.

Voor de elektrochemische routes wordt in een pilot fase gedacht aan relatief kleine hoeveelheden tot 1000 ton per jaar via een scale-out d.m.v. stacking van cellen versus conventionele scale-up. Doorontwikkeling en opschaling kan op de lange termijn resulteren in productie van mierenzuur uit CO<sub>2</sub> voor toepassing als brandstof (fuel cell), en in de productie van voor monomeren/polymeren in 2050 in Nederland. Hierbij gaat het vooral om monomeren zoals oxaalzuur, glycolzuur en ethyleen glycol uit CO<sub>2</sub>. Het ontwikkelen van CCU voor hoogwaardige monomeren is een springplank voor de productie van syngas uit CO<sub>2</sub> en water. De vereiste innovaties voor de directe elektrochemische route moet gericht zijn op kostenverlaging, zodat deze oplossingen kunnen gaan concurreren met andere productieroutes. Belangrijke aspecten hierin zijn het verlagen van de kapitaalkosten (CAPEX), de verhoging van de productie per elektrode-oppervlak door verhoging van de stroomdichtheid tot bijvoorbeeld 800 mA/cm<sup>2</sup> en verhoging van de productselectiviteit.

Voor de katalytische route is voldoende beschikbaarheid van goedkope duurzame waterstof een randvoorwaarde voor snelle opschaling. Deze katalytische processen hebben in het algemeen een lage conversiegraad door thermodynamische beperkingen. Procesintensificatie, in de vorm van een combinatie van reactie en in-situ water afscheiding, speelt een essentiële rol bij het ontwikkelen en opschalen van efficiënte processen voor katalytische conversie.

Biokatalytische omzetting van CO<sub>2</sub> is in Nederland op pilotschaal bewezen voor de productie van melkzuur. Het betreft hier de rechtstreekse productie van melkzuur via cyanobacteriën, onder invloed van licht.

### **Verwaarding van staalgassen**

Bij de vervaardiging van staal komen diverse gassen vrij met een energetische waarde:

- Hoogovengas: de grootste stroom met de laagste calorische waarde.
- Gas dat vrijkomt bij het oxystaalproces: kleiner volume, maar veel hogere calorische waarde.

Beide gassen bevatten veel CO en CO<sub>2</sub>.

- Gas dat vrijkomt bij de productie van de benodigde cokes: dit gas bestaat vooral uit CH<sub>4</sub> en H<sub>2</sub>.

De energie van deze restgassen gaat in het algemeen niet verloren en wordt gebruikt voor interne verwarming en elektriciteitsproductie, in grofweg een 1 op 1 verhouding. Het is redelijk om aan te nemen dat deze laatste toepassing uitgefaseerd zal worden bij een toenemende productie van duurzame elektriciteit. De ontwikkelingen om nieuwe toepassingen voor deze gasstromen te vinden is de laatste jaren in een stroomversnelling geraakt, waarbij op diverse plaatsen in Europa experimentele verificatie plaatsvindt met industriële gasmengsels. Bij deze aanpak wordt het staalbereidingsproces niet essentieel veranderd. De staalindustrie ontwikkelt ook alternatieve processen, zoals het gebruik van waterstof als reductant en het Hisarna proces. Deze meer radicale veranderingen worden besproken in MMIP8.

Diverse Nederlands partijen zijn op dit moment actief op het gebied van de productie van methanol, ureum en synthetisch nafta op basis van staalgassen. In het algemeen zal de verwaarding van het staalgas meerdere processtappen omvatten. De focus bij de verwaarding ligt veelal op de energie-inhoud, vooral in de vorm van CO. CO<sub>2</sub> dat in het staalgas in relatief grote hoeveelheden aanwezig is, vormt vanuit die optiek een potentieel versturende factor. Efficiënte afscheiding hiervan is nodig. Ook de aanwezigheid van grote hoeveelheden stikstof in het gas (tot 50%) kan hinderlijk werken en leiden tot grotere reactoren, geringere conversies en complexe scheidingen na afloop van de conversie. Echter het gas dat vrijkomt uit het oxystaalproces kan relatief eenvoudig worden omgezet in een synthese gas voor ammonia bereiding. Optioneel wordt deze ammonia met een klein deel van het afgevangen CO<sub>2</sub> omgezet naar ureum. De opbrengsten van de verkoop van het ureum zijn voldoende om de kosten van de CO<sub>2</sub> afvang te dekken. Op deze wijze komt het overgrote deel, circa 75%, van het CO<sub>2</sub>, beschikbaar in een kwaliteit die geschikt is voor ondergrondse opslag, zonder dat hier meerkosten aan verbonden zijn. Het totale speelveld van deze benadering kan oplopen tot ongeveer 1 Mtpa CO<sub>2</sub>. Vergelijkbare voorbeelden zijn te schetsen voor de synthese van nafta en methanol. Bij deze ontwikkeling is dus sprake van een combinatie van CCU en CCS.

Afhankelijk van de specifieke procesgang en warmteintegratie opties kan de energie die vrijkomt bij de exotherme reacties voor diverse doeleinden gebruikt worden, o.a. voor CO<sub>2</sub> verwijdering uit de afgassen. Aangezien deze opties geen of relatief weinig additionele waterstof nodig hebben en leiden tot een overmaat aan zuivere CO<sub>2</sub> die klaar is om ondergronds op te slaan is de verwachting dat een dergelijk route snel tot implementatie kan komen.

### 6.3.3 Innovatieopgaven vertrouwen, gedrag en acceptatie

CCU is nog een nieuw concept, waardoor de maatschappelijke inbedding nog in de kinderschoenen staat. Zo moet CCU nog een plek krijgen in beleid en instrumentarium. Daartoe is meer inzicht nodig in de duurzaamheid van de integrale CCU-ketens en de impact op andere systemen en infrastructuur (zie ook onder ontwerp voor circulariteit). In welke mate en onder welke voorwaarden is het verstandig om ontwikkeling en toepassing van CCU te stimuleren? Hoe telt het mee bij het halen van de klimaatdoelen? In het instrumentarium is het van belang dat de kosten en baten niet altijd bij dezelfde schakels in de keten terecht komen, en dat geldt ook de ecologische voor- en nadelen.

Het is ook van belang dat producten op basis van CCU door de markt geadopteerd kunnen worden en dat ze passen en erkend worden in normen, regelgeving en aanbestedingsbeleid. De maatschappelijke inbedding vergt verder dat burgers en consumenten ook beter bekend worden met het concept CCU en dat er draagvlak voor deze route ontstaat. Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie

#### *Wat is de rol van CCU in de transitie?*

Op de korte termijn kan het gebruik van CO<sub>2</sub> afkomstig uit rook- en verbrandingsgassen bijdragen aan het vervangen van fossiele grondstoffen en het beperken van de import. In de glastuinbouw kan door CO<sub>2</sub> dosering worden voorkomen dat in de zomermaanden aardgas wordt verbrand met als enig doel het verkrijgen van CO<sub>2</sub> voor dosering aan planten. De productie van synthetische brandstoffen op basis van CO<sub>2</sub> kan op analoge wijze fossiele grondstoffen vervangen. Hierbij ligt het voor de hand om te starten met rook- en verbrandingsgassen met een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie, omdat dit energetisch en kostentechnisch het meest gunstig is.

Positieve business cases kunnen gehaald worden als de restgassen van de staalindustrie, die naast CO<sub>2</sub> ook het reactievere CO bevatten, omgezet worden naar hoogwaardige verbindingen. Voorbeelden hiervan zijn de benutting als grondstof voor de productie van plastics of ureum, waarbij een deel van de koolstof in het product terecht komt en het merendeel als CO<sub>2</sub> beschikbaar komt voor opslag (CCS). Initiatieven om ureum, kerosine en grondstoffen voor plasticproductie op deze manier te maken haken hier op in.

Op de lange termijn is de herkomst van CO<sub>2</sub> van belang. In de meeste toepassingen komt CO<sub>2</sub> na verloop van tijd weer vrij. Bij brandstoffen vrijwel direct, bij chemicaliën en materialen in de afvalfase (wanneer recycling niet meer mogelijk is). Maximale circulariteit is van groot belang om deze vorm van CO<sub>2</sub>-emissie te minimaliseren. Bij fossiele bronnen van CO<sub>2</sub> zou de retentie van CO<sub>2</sub> in producten in principe oneindig moeten zijn, omdat anders het gehalte CO<sub>2</sub> in de atmosfeer blijft toenemen. Bij natuurlijke bronnen moet de productie van CO<sub>2</sub> door verbranding niet groter zijn dan de vastlegging ervan, omdat anders het gehalte aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer evengoed blijft toenemen. Uiteraard moet het streven zijn om elke vorm van CO<sub>2</sub>-emissie te minimaliseren. Deugdelijke onderbouwing door levenscyclus en systeem analyses zijn van het grootste belang om de klimaatimpact in te schatten.

Op de lange termijn dienen producten niet langer meer in het afvalstadium te leiden tot CO<sub>2</sub>-emissies ook omdat dit betekent dat dan grondstof omgezet wordt in atmosferisch afval (circulariteitsperspectief). "Down-scaling" van CCU-processen is belangrijk omdat niet alle CO<sub>2</sub> door puntbronnen zoals raffinaderijen, bulkchemie en staalindustrie geëmitteerd wordt. Er moeten processen ontwikkeld worden die op kleine schaal economisch rendabel zijn.

#### *Footprint over de hele keten van belang*

CO<sub>2</sub> is thermodynamisch gezien een stabiel molecuul. In het algemeen geldt dat de conversie van CO<sub>2</sub> in chemicaliën en brandstoffen veel energie vergt. Energie moet daarom duurzaam verkregen worden en betaalbaar en in ruime mate beschikbaar zijn. De figuur illustreert dat de herkomst van

duurzame energie een doorslaggevende factor kan zijn op de global warming impact van CCU routes<sup>28</sup>.

Om de daadwerkelijke duurzaamheid van een product op basis van CCU te bepalen, is een levenscyclusanalyse van belang, die de herkomst van de CO<sub>2</sub> en de milieueffecten van zowel de procesenergie als de productie van de andere reactanten (zoals H<sub>2</sub>) plus de emissie-impact van de productie van de installaties en hun technische levensduur in beschouwing neemt.

#### Implementatie

Behalve de huidige toepassingen van CO<sub>2</sub> in de productie van ureum, de frisdrankenindustrie en in de *enhanced oil recovery* zijn er vrijwel geen toepassingen die in de huidige marktomstandigheden competitief zijn. De ureumproductie gebruikt NH<sub>3</sub> dat via het Haber-Bosch proces geproduceerd wordt, waardoor het overall proces vooralsnog netto CO<sub>2</sub>-emissies uitstoot. CO<sub>2</sub> die wordt vastgelegd in frisdranken komt bij consumptie direct weer vrij.

Zonder specifiek beleid dat CCU stimuleert is emissie van CO<sub>2</sub> altijd goedkoper (geldt ook voor CCS).

Bij het stimuleren van CCU innovaties is het van belang dat deze routes bijdragen aan verduurzaming en uiteindelijk circulair worden. Twee aspecten zijn van belang:

- Wat is de 'climate mitigation potential' van de hele CCU keten op het moment dat de technologie in de demo-fase belandt, en wat is het langetermijnperspectief? Een voorwaarde hiervoor is de beschikbaarheid van duurzame elektriciteit tegen lage kosten.
- In hoeverre is de route circulair of heeft de route het perspectief op afzienbare termijn circulair te worden?

Het is van belang projecten te toetsen aan bovenstaande aspecten. Daarnaast is het van belang om de projecten niet alleen aan de huidige referentie te toetsen, maar ook aan andere circulaire routes die in ontwikkeling zijn.

Het framework voor CCU vanuit beleid is volop in ontwikkeling, zowel in Nederland als in de EU. Dit framework zal in de toekomst richtinggevend worden voor de ontwikkeling en uitrol van CCU.

## 6.4 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

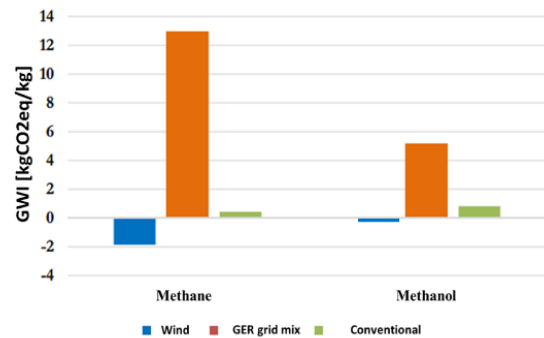
Aan de hand van de methodiek van Hekkert is onderstaande omgevingsanalyse opgesteld. Zie voor meer informatie over de methode ook de omschrijving in het deelprogramma CCU.

#### Ondernemersactiviteiten

CCU is relatief jong onderzoeksgebied. Wereldwijd vindt de meeste activiteit plaats in de VS en West-Europa. Binnen Europa vinden de meeste projecten plaats in Duitsland waar met (veel) overheidsgeld grote langdurige programma's zijn opgezet, met Nederland als goede tweede<sup>29</sup>. CO<sub>2</sub>-levering aan de glastuinbouw vindt al jaren plaats, de aandacht voor CCS bij industrie heeft ook de activiteiten op het vlak van CCS gestimuleerd. Met name de chemische industrie, de staalindustrie en AVI's zijn actief.

## CLIMATE AND ENERGY ASSESSMENT

LCA results: Global Warming Impact (GWI) per energy source  
Example: methane and methanol



<sup>28</sup> Rambol e.a., 'Identification and analysis of promising CCU technologies', presentatie tijdens ETS Compliance Conference, 13 november 2018; Rambol stelt een overzichtsstudie op in opdracht van EU DG CLIMA. De grid mix heeft betrekking op Duitsland.

<sup>29</sup> Literatuuronderzoek door L. Termeer in opdracht van Platform Biobased Circular Business

Random mineralisatie en toepassing in bouwmaterialen kent Nederland ook meerdere start ups en MKB bedrijven.

#### *Kennisontwikkeling*

In Nederland vindt kennisontwikkeling plaats bij zowel universiteiten, TO2 als het bedrijfsleven. Afhankelijk van de toepassing heeft dit tot een aantal pilots en demo's geleid. Het ECCM programma ondersteunt electrochemisch onderzoek dat ook van belang is voor CCU. Dit programma is door samenwerking van de topsectoren chemie, energie en HTSM tot standgekomen.

#### *Kennisdiffusie*

Het aantal wetenschappelijke congressen en publicaties op dit onderwerp is de laatste jaren explosief gegroeid. In Nederland vindt industriële kennisdeling ook plaats via de C1-werkgroep van het Platform Biobased Circular Business, en ook CATO houdt zich bezig CO<sub>2</sub> gebruik. Nederlandse partijen zijn ook vertegenwoordigd in Europese platforms zoals CO<sub>2</sub> Value en het Phoenix initiatief, en ook wereldwijd zoals in Mission Innovation.

#### *Richting geven aan het zoekproces*

De positie van CCU in beleid staat nog niet vast. Er vindt dan ook nog geen sturing plaats op bepaalde CCU routes, ook worden nog geen randvoorwaarden meegegeven waaraan ontwikkelingen getoetst kunnen worden. Omdat CCU een breed onderzoeksgebied is met vele verschillende technologie routes, bestaat hiermee het risico op versnippering van onderzoek. Naast het voorkomen van versnippering is ook van belang dat Nederland genoeg langdurige competitieve voordelen heeft ten opzichte van andere landen, om bedrijven te verleiden investeringen in Nederland te doen.

Een aantal routes is met succes gedemonstreerd in Nederland en verder opschaalbaar (levering aan de glastuinbouw, natriumbicarbonaatproductie bij AVI's). Op het vlak van mineralisatie kent Nederland een aantal innovatieve MKB-bedrijven en zijn er ook mogelijkheden om slakken en assen in te zetten voor dit doel. De aanwezigheid van de staalindustrie biedt kansen om CO en CO<sub>2</sub> uit de staalgassen te valoriseren, waarschijnlijk in combinatie met CCS.

Op de lange termijn is de omzetting van CO<sub>2</sub> naar chemische bouwstenen een belangrijke route voor verduurzaming van de chemische industrie. Nederland zal niet voor alle routes de beste plek zijn voor implementatie. Veel routes zijn bijzonder energie-intensief en vereisen de beschikbaarheid van duurzame elektriciteit tegen lage kosten. In algemene zin gesteld, lijken de electrochemische routes op dit moment meer perspectief te hebben dan de chemisch-katalytische routes die veel duurzame H<sub>2</sub> nodig hebben. Aangezien de ontwikkelingen nog pril zijn, maar wel in snel tempo toenemen, dient deze afweging in de loop der tijd doorlopend getoetst en bijgesteld te worden. In de paragraaf over monitoring, effectmeting en evaluatie in de hoofdtekst worden hiervoor enige criteria genoemd.

#### *Marktontwikkeling*

CCU is nog geen focusgebied van instrumentarium gericht op marktontwikkeling. CCU is nog niet opgenomen in SDE++ en heeft ook nog geen duidelijke positie verworven in overig instrumentarium. Demonstratieprojecten waarbij de CO<sub>2</sub> winst bij een andere schakel in de keten wordt gerealiseerd dan de investeerder, komen niet voor demonstratiesubsidie in aanmerking. Er begint wel een krachtige marktvraag te ontstaan voor vliegtuigbrandstoffen. Wanneer op lange termijn de omzetting van CO<sub>2</sub> en water in syngas technische en economische haalbaar wordt, dan is dit een markt met een potentieel van miljoenen tonnen.

#### *Mobiliseren van middelen*

Nederland kent een aantal programma's die onderzoek ondersteunen, maar relatief weinig opties in de pilot en demofase. Beperkte TKI fondsen zijn beschikbaar via TKI-nieuw gas en E&I.

#### *Creëren van legitimiteit*

CCU is booming, er zijn hoge verwachtingen van de bijdrage van CCU aan het klimaatbeleid. Er worden zeer veel congressen georganiseerd. Er bestaat hierdoor een afbreukrisico. CCU kan qua volume geen vervanging zijn van CCS. De kosten voor technologie-ontwikkeling zijn hoog, en beschikbaarheid van goedkope duurzame elektriciteit kan een belangrijke showstopper zijn voor

implementatie in Nederland. Voorkomen moet worden dat de hype die nu ontstaan lijkt, zich straks tegen CCU keert als de successen zich niet meteen aandienen. Gedegen systeemanalyses kunnen de legitimiteit van CCU toetsen en (zeer waarschijnlijk) versterken. Daarbij moet ook worden aangegeven op welke termijn en met welke toepassing de technologie het meeste oplevert.



## 7 Deelprogramma 4: Circulaire non-ferrometalen

### 7.1 Programmatische aanpak

#### 7.1.1 Introductie

Non-ferrometalen zijn metallische materialen waarvan ijzer niet de hoofdcomponent is. Legeringen met ijzer tot een percentage van 50 procent ferro vallen ook onder de non-ferrometalen. De diversiteit onder non-ferrometalen is groot. Ze variëren van koper, zink, chroom, lood en tin tot lichtmetalen als aluminium, magnesium en titaan, edelmetalen als goud en zilver, en zeldzame aardmetalen als europium, dysprosium, neodymium en vele andere. Non-ferrometalen worden veelvuldig toegepast in de bouw en de maakindustrie. Het uitvoeringsprogramma circulaire maakindustrie kent drie effectdoelstellingen:

1. Vergroten voorzieningszekerheid kritieke materialen;
2. Verlagen milieudruk;
3. Waardebehoud (afval reduceren tot nul).

Dit MMIP heeft betrekking op het reduceren van broeikasgasemissies en op waardebehoud met betrekking tot de non-ferrometalen. Daarnaast draagt dit deelprogramma bij aan een belangrijke kabinetsdoelstelling voor de maakindustrie, namelijk het voorkómen van netto-uitstroom van kritieke metalen of van materialen van in ons land sterke ketens<sup>30</sup>. Daarom is dit onderwerp ook van belang voor de KIA Circulaire Economie.

#### 7.1.2 Doelen deelprogramma Recycling non-ferrometalen

Metalen verdienen uit het perspectief van recycling bijzondere aandacht, aangezien metalen in theorie uit vrijwel elke materiaalstroom kunnen worden teruggewonnen zonder kwaliteitsverlies in vergelijking met het primaire metaal. Daarbij moet echter aangetekend worden dat de recyclingopgave technisch steeds uitdagender wordt door het gebruik van nieuwe legeringen, samengestelde materialen, composieten en nieuwe materiaalcombinaties in producten. Een voorbeeld: waar koper bij de winning uit primaire grondstoffen (chalcopyriet) geïsoleerd moet worden van ruim vijftien andere elementen, zijn dat er meer dan veertig bij de terugwinning van koper uit afvalstromen van consumentenelectronica en elektrische apparaten. Vooral de terugwinning van non-ferrometalen uit complexe legeringen en samengestelde materialen, die veelal ontwikkeld zijn om meer functionaliteit bij minder materiaalgewicht te realiseren (en daardoor productminiaturisering en energiebesparing in de gebruiksfase mogelijk te maken), is technisch een enorme uitdaging. De vele verschillende aluminiumlegeringen die hun karakteristieke specificatie verliezen als ze vermengd worden en daarna alleen nog bruikbaar zijn in laagwaardige toepassingen is een tweede voorbeeld.

Uit het oogpunt van klimaatbeleid is recycling van non-ferrometalen gewenst omdat de meeste daarvan een grote energie-inhoud vertegenwoordigen, die bij recycling grotendeels behouden blijft. Recycling van materialen gebeurt in het algemeen echter niet met het oogmerk broeikasgasemissies te reduceren, maar om redenen van voorzieningszekerheid. Toch kan door recycling van non-ferrometalen naar schatting 1Mt/j CO<sub>2</sub>-emissiereductie bewerkstelligd worden.

Het recyclingpercentage voor ferrometalen is op dit moment 90% ferro wordt gerecycleerd. Hoewel dit percentage al hoog is, is er ruimte voor verdere verhoging. Gezien het grote volume van de ferrometaalstromen is dat een aantrekkelijke mogelijkheid om CO<sub>2</sub>-emissies verder te reduceren.

---

<sup>30</sup> : Kabinetsreactie op de transitieagenda's circulaire economie, 29 juli 2018, blz. 27

### 7.1.3 Ontwerp voor Circulariteit

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
1.1	Systeemanalyse, -monitoring en -evaluatie	Analyse van huidige en toekomstige (>2030) recycling stromen.	In kaart brengen van de voorraden en stromen (urban mining) van non-ferrometalen in de Nederlandse (en Europese) economie.	x			n.v.t.		
			Opzetten van een monitoring- en evaluatiesysteem en dataplatform.		x				
			Ontwikkelen van (simulatie)modellen voor circulair gebruik van metalen in materialen		x				
1.2	Maximalisatie van waardebehoud	Optimalisatie van waardebehoud van post-consumer recycklaat	Ontwerp van een labelingsysteem voor recycklaatspecificatie		x		n.v.t.		
			Ontwikkelen van een afwegingskader voor functioneel ontwerp (bijv miniaturisering) vs recycleerbaarheid voor : - Artikelen van staal + legering + plastic (bijv modulariteit) - Composieten - Non-ferrolegeringen		x				

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

### 7.1.4 Circulaire Grondstoffen & Processen

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
2.1	Infrastructuur en Logistiek	Karakterisering en ontwerp van selectieve infrastructuur voor materialen (100% inzamelingsrendement) en inverse logistiek	Ontwerp en implementatie van Inzamelingsinfrastructuur en retourlogistiek voor selectieve materiaal stromen (ijzer/staal, non-ferro metalen en legeringen en plastics) die optimaal gescheiden en gerecycleerd kunnen worden.		x	x	n.v.t.		

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
2.2	Scheiding van materialen (ijzer, non ferro metalen, plastics, etc)	Ontwikkeling van selectieve karakteriserings- en scheidings- technieken voor materialen (non-ferro metalen, legeringen, ijzer/staal, plastics)	Nieuwe betere karakteriserings- en scheidingstechnieken moeten worden ontwikkeld om end of life producten te scheiden in specifiek recyclebare stromen, waaruit de non-ferrometalen kunnen worden teruggewonnen voor hergebruik. Scheiding van specifieke legeringen ter voorkoming van (verdere) vermenging/waardeverlies	x	x			x	
2.3	Ontwikkelen van een geïntegreerde keten voor (mobiliteits)batterijrecycling	Verhoging van het recyclingrendement (>50%) en verlaging van de huidige CO <sub>2</sub> emissie van de recycling van tractie batterijen.	Fase-1: inventarisatie van bruikbare processen voor het terugwinnen van materialen uit mobiliteitsbatterijen (EV's, e-bussen, e-trucks, e-barges, etc)	x				x	
			Ontwikkelen van een versnipperproces voor batterijen (veiligheid)		x			x	
			Optimaal scheidingsproces voor separatie in verwerkbaar materiaalstromen		x			x	
			Optimale verwerkingsprocessen voor een maximaal terugwinningsrendement voor de gescheiden materiaalstromen. (Terugwinning van: mangaan, cobalt, lithium, rare earth metalen, ijzer, etc., en plastics (link met deelprogramma kunststoffen)		x	x	x		
2.4	Innovatieve terugwinnings- technieken voor non-ferrometalen	Lage-temperatuur hydro metallurgische processen	Ontwikkelen van lage-temperatuur processen voor terugwinning van non-ferrometalen (b.v. MPT – Molecular Recognition Technology, solvent extraction, ion exchange, etc) Zinkextractie van verzinkt staal- en kelderassen	x	x		x		

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-' '22	'22-' '24	'24-' '26	1-3	4-6	7-9
		Innovatieve (hoge temperatuur) pyrometallurgische processen met minimum CO <sub>2</sub> -emissie	Ontwikkeling van een geëlectriceerd pyrometallurgisch proces (plasma technologie) waarbij toevoeging van koostof als reductant wordt vervangen door H <sub>2</sub> .		x	x	x	x	
2.5	Verbetering van elektrolyseprocessen	Ontwikkelen van een elektrolyseproces voor zink met reductie van het elektriciteitsverbruik	De toepassing van "spinning disc" in het elektrolyse proces van zinkverwerking		x	x	x		
		Verlaging van het energieverbruik van het elektrolyseproces voor aluminiumproductie	Innovatieve verbeteringen van het elektrolyseproces voor aluminiumproductie door verbetering van het elektriciteits rendement (EE) – VNMI-klimaat roadmap		x	x		x	
2.6	Ontwikkeling innovatief verwerkingsproces voor Fe-houdende residuen uit de zinkindustrie en Zn-houdende residuen uit de staalindustrie	Nieuw proces ter vervanging van het huidige pyrometallurgische verwerkingsproces, door staal en zink industrieën te koppelen.	In het Reclamet Project van TATA steel waarin Nyrstar ook een partner is kan het ijzer residu afkomstig van de zink productie worden verwerkt, waarbij ijzer wordt terug gewonnen bij TATA. Tevens worden zink en andere non-ferro metalen terug gewonnen bij Nyrstar. Mogelijk ook relevant voor andere zink- en staalproductiefabrieken.	x	x			x	

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

### 7.1.5 Vertrouwen, Gedrag & Acceptatie

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-' '22	'22-' '24	'24-' '26	1-3	4-6	7-9
3.1	Transparantie van de markt		Ontwikkeling van recycelaatstandaarden en bijhorende test- en meetmethoden	x	x				n.v.t.

Innovatieopgaven		Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
				'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
3.2	Minimale lekkage uit de kringloop	Werkende en betrouwbare markt voor 50% van het volume van e-waste en batterijen	Ontwikkeling van business modellen voor internationale handel in recyclaat (bijv recyclingindex ala Van Schaik en Reuter)	x					
			Modellen voor garanties op retournering van materialen (bijv Ownership, verwijderingsbijdrage, statiegeld, lease)	x	x				
			Opties voor isolatie en behoud van niet recycleerbaar materiaal		x				
			Wegnemen van (internationale) juridische blokkades voor refurbishment en downgraded use (2 <sup>nd</sup> life) en recycling (end-of-life)	x	x				

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

## 7.2 Stand van zaken productie en recycling non-ferrometalen

Nederland beschikt zelf niet over winbare voorraden van primaire metaalertsen en er is in Nederland, behalve de staalproductie in IJmuiden (Tata), de zinkproductie in Budel (Nyrstar), en de aluminiumsmelters in Vlissingen (nu alleen nog in gebruik als secundaire smelter) en Delfzijl, weinig of geen basismetale producerende industrie. Analisten van de ING becijferen de omvang van de metaalindustrie (incl. ijzer en staal) op circa 1,1% van de Nederlandse economie (als aandeel in het BBP). Volgens de Koninklijke Metaalunie zijn er 27.155 metaalbedrijven in Nederland (peildatum 1 jan. 2018); 90% daarvan heeft minder dan 20 medewerkers in dienst [Bron: Metaalnieuws, 29 jan 2018].

Zowel in de primaire als in de secundaire productie van non-ferrometalen heeft Nederland nog volop mogelijkheden om de emissies van broeikasgassen substantieel te verlagen, en tegelijkertijd de doelstellingen van waardebehoud te realiseren.

### ***Verbetering van primaire productieprocessen voor non-ferrometalen***

De ontwikkeling van nieuwe productieprocessen kan de CO<sub>2</sub> emissies van bestaande processen verlagen. De ontwikkeling van een verbeterd electrolyseproces (spinning disc technologie) in de primaire zinkproductie kan het elektriciteitsverbruik voor het maken van zink verlagen. De ontwikkeling van een hydrometallurgisch proces voor de verwerking van zink residuen zal significant minder energie verbruiken dan het huidige pyrometallurgische (hoge temperatuur) proces. Verbeteringen van het energierendement (EE) van de aluminiumproductietechnologie zal het verbruik van elektriciteit (en daarmee de emissies van broeikasgassen) verlagen. Het elektrificeren van de huidige gasgestookte ovens in de aluminium- en koperindustrie zal eveneens leiden tot een verlaging van de CO<sub>2</sub> emissies.

### ***Verbetering circulariteit van non-ferrometalen***

In vergelijking met de gevestigde Nederlandse recyclingindustrie voor ferrometalen, waar al een recyclingpercentage van 90% wordt gerealiseerd, is er nog een lange weg te gaan om de recycling van non-ferrometalen robuust te organiseren, met inbegrip van de infrastructuur en logistiek voor inzameling en de scheidingsprocessen voor verschillende stromen. Wel constateren we dat Nederland voldoet aan een aantal belangrijke randvoorwaarden voor het ontwikkelen van een bloeiende recyclingindustrie. Nederland heeft al sterke kennisposities verworven en innovatieve bedrijvigheid ontwikkeld op een aantal domeinen die uiterst relevant zijn voor de terugwinning van non-ferrometalen uit secundaire stromen. Nederland is sterk in transportinfrastructuur en logistieke dienstverlening, in scheidingstechnologie en productontwerpen, en ontwikkelt zich sterk in sensortechnologie en artificial intelligence. Die posities verschaffen Nederland een uitstekende uitgangspositie voor de terugwinning van non-ferrometalen uit een scala van retourstromen (primair en secundair schroot, productretourstromen, afvalstromen).

### ***Verdere verbetering van circulariteit van ferro-metalen***

Terwijl ferrometalen al voor 90% gerecycled worden, is daar ook nog verbetering mogelijk. Gezien het grote volume van de ferrometaalstromen is dat een aantrekkelijke mogelijkheid om CO<sub>2</sub>-emissies verder te reduceren. Hiervoor is het belangrijk dat nog beter voorgesorteerd wordt, zodat Sn, Zn en Cu niet in de recyclestream terechtkomen en de kwaliteit van het staal waarin de recyclelaastroom gebruikt wordt niet vermindert.

## 7.3 Innovatieopgaven

### 7.3.1 Innovatieopgaven ontwerp voor circulariteit

Bij het ontwerp van nieuwe producten en diensten moet uiteraard het potentieel voor hergebruik en recycling het uitgangspunt zijn, met specifieke aandacht voor problematische stoffen, materialen en materiaalcombinaties. In een circulaire economie bestaat geen afval. In een circulaire economie zijn van secundaire materiaalstromen de samenstellende materialen en hun specificaties in principe bekend. Onderzoek is echter nodig om de kwaliteit van uitgaande materialen te kunnen voorspellen en te valideren. Voor de producten die nu ontworpen worden, houdt dat in ieder geval in dat de samenstellende materialen gespecificeerd en gelabeld moeten worden. Voor nieuwe materialen die in het materiaalensysteem geïntroduceerd worden, dient niet alleen de recyclebaarheid, maar ook de daadwerkelijke recycling bij voorbaat gegarandeerd te worden.

In het ontwerp van nieuwe producten moet een expliciete afweging gemaakt worden tussen energiebesparing in de gebruiksfase (bijv. gewichtsbesparende materialen in auto's) en behoud van de samenstellende materialen en hun energie-inhoud in de *end-of-life* fase van het product. Zo kan ook miniaturisering op gespannen voet staan met de eisen van recycling. Systeemanalyses kunnen hier meer inzicht geven en technologische kan mogelijk oplossingen bieden. Zie innovatieopgaves 1.2 – Maximalisatie van waardebehoud.

#### **Refurbishment**

Veel componenten en finale producten waar non-ferro metalen in zijn verwerkt, zijn via circulaire strategieën zoals hergebruik en refurbishment opnieuw hoogwaardig in te zetten en de non-ferro metalen beschikbaar blijven voor de Nederlandse klimaat- en energietransitie. TNO onderzoek<sup>31</sup> laat zien dat via deze circulaire strategieën er duidelijke CO<sub>2</sub>-winst te behalen is, ze nieuw economische kansen bieden en een verlaging van leveringszekerheidsrisico's.

#### **Nieuwe productie- en onderhoudsmethodieken**

Door de toenemende digitalisering in de maakindustrie, is het mogelijk om een verdiept niveau van materiaalefficiëntie te bewerkstelligen in productieprocessen (bijv. digital twinning, 3D-printing, N=1 productie, reductie snijverlies) als een hoger waardebehoud van producten (indien gecombineerd met inspectietechnologie o.a. onderhoud op afstand, continue prestatie meting product). Deze technologieën maakt het mogelijk om grootschalige circulaire businessmodellen te creëren en via de materiaalefficiëntie bij te dragen aan CO<sub>2</sub>-emissiereductie.

### 7.3.2 Innovatieopgaven circulaire grondstoffen & processen

#### **Infrastructuur en logistiek**

In vergelijking met de geavanceerde logistiek voor primaire grondstoffen, materialen en producten, is die voor secundaire stromen nog onderontwikkeld. Dat geldt zowel voor de handel (beschikbare data en faciliteren van transacties), als voor de fysieke transport- en verwerkingsfaciliteiten. Om handel, logistiek en verwerking voor secundaire materialen op hetzelfde geavanceerde niveau te brengen als waarop die voor primaire materialen zijn ingericht, zijn materiaalstroombegrip, – monitoring en evaluatie noodzakelijk, op verschillende schaalniveaus in ruimte en tijd. Die kennisbasis is vereist om de benodigde *reverse logistics* te kunnen ontwerpen/ontwikkelen, waarin materiaalstromen gebundeld dan wel gescheiden worden gehouden, afhankelijk van de specificaties die de beschikbare verwerkingsmethoden vereisen. Het rekening houden met een veel grotere diversiteit aan soorten en kwaliteiten van materialen, en de bijbehorende variatie van volumes, is een grote logistieke uitdaging op zich. Naast de functionele organisatie van een divers logistiek netwerk, vereist het ook ruimtelijk onderzoek, voor het kunnen faciliteren van de juiste locaties voor nieuwe (grote en kleine) draaischijven van grondstoffen, alsmede voor het inrichten van de noodzakelijke transportinfrastructuur en verwerkingsinstallaties.

Zie innovatieopgave 2.1 - *Infrastructuur en Logistiek*

---

<sup>31</sup> : TNO (2016) Methodiek circulaire potentie productgroepen.

## Scheidings- en verwerkingstechnologie

De bestaande metallurgische infrastructuur voor de productie van primaire en secundaire metalen is ingericht op specifieke metalen en metaalcombinaties. Naast de productgroep ferrometalen, zijn er in de metallurgische infrastructuur segmenten te onderscheiden die specifiek ingericht zijn op de productie/recycling van aluminium, titanium, magnesium, lithium, tin, mangaan, zink, lood, nikkel/chroom, koper/nikkel, cobalt/nikkel en zeldzame aardmetalen. In sommige van die segmenten kunnen andere non-ferrometalen die in kleinere hoeveelheden voorkomen (in andere onderdelen van het afgedankte product of als legeringselementen in het hoofdmetaal) worden teruggewonnen. In andere segmenten gaan er verhoudingsgewijs juist veel andere metalen verloren. Dat betekent dat er voor optimale recycling van non-ferrometalen behoefte is aan voorscheiding van (materialen/onderdelen van) afgedankte producten. In de praktijk ontbreekt het aan de infrastructuur en de logistiek om een toereikende mate van voorscheiding te realiseren. In landen waar wel voorscheiding plaatsvindt is er doorgaans sprake van *low-tech* arbeid onder hoogst ongezonde en onveilige arbeidsomstandigheden. In Nederland zijn dergelijke bewerkingen alleen denkbaar met vergaande procesautomatisering, gebruik makend van geavanceerde sensortechnologie en bijbehorende dataverwerking.

Voor de metallurgische terugwinning van non-ferrometalen in Nederland passen, gegeven de nationale doelstellingen voor reductie van broeikasgasemissies, geen pyrometallurgische verwerkingsroutes (tenzij deze geëlektrificeerd kunnen worden), maar zijn we vooral aangewezen op hydrometallurgische verwerking. Ook die processen zijn echter niet 'gratis' in termen van energie. In dit verband zijn er interessante innovatieve ontwikkelingen te melden in de primaire metaalproductie, zoals de *spinning disc* technologie in de primaire zinkproductie, die ook relevant zijn voor de secundaire winning van non-ferrometalen.

Zie innovatieopgaves 2.2 - Scheidingstechnieken voor materialen (ijzer, non ferro metalen, plastics, etc) en 2.4 - Innovatieve terugwinningstechnieken voor non-ferrometalen.

In de toekomst zal de verwerking van gebruikte mobiliteitsbatterijen van EV's (electric vehicles), e-bussen en e-trucks van groot belang worden. Op basis van de aanname dat na 2030 alle auto's van een elektrische aandrijving met batterij zullen zijn voorzien, zal er een recyclingstroom van deze batterijen ontstaan die zal oplopen tot 120.000 ton per jaar (>150.000 ton/jaar inclusief e-bussen en e-trucks). Waarschijnlijk zullen de gebruikte batterijen pas worden gerecycled nadat deze zijn gebruikt in een tweede-levenstoepassing. Een innovatieopgave is opgenomen in MMIP6 voor het ontwikkelen van een geïntegreerde keten van recyclingstechnieken voor mobiliteitsbatterijen.

Zie Innovatieopgave 2.3.

Behalve recyclingprocessen is er ook een aantal CO<sub>2</sub>-reducerende verbeteringen te behalen bij de productie van primair zink en aluminium. Hierbij wordt het elektriciteitsverbruik verminderd door een verbeterd energierendement van het electrolyseproces (spinning disk technologie ontwikkeld door TU/e) . Dit leidt tot vermindering van de indirecte CO<sub>2</sub>-emissie bij het produceren van elektriciteit. Deze verbeteringen worden genoemd in innovatieopgave 2.5 – Verbeteringen van electrolyseprocessen (Al en Zn).

Na versnipperen en scheiding komen er bij batterijrecycling behalve non-ferrometaal houdende materiaalstromen ook ijzer- en plastichoudende materiaalstromen vrij die verder verwerkt moeten worden. Hier bestaat een belangrijke link met de innovatieopgaves voor recycling van ijzer, staal en plastics.

Na een pyrometallurgische verwerkingsstap, waarbij de vluchtige non-ferrometalen (Zn, Pb, In, Ge, etc) in oxide vorm worden teruggewonnen, blijft er vaak een ijzerhoudend (slak) residue over, waaruit het ijzer wellicht nog kan worden teruggewonnen. Dit geldt ook voor de ijzerhoudende residuen (Goetite), die voortkomen uit het primaire zinkproductieproces, en de zinkhoudende residuen vanuit het ontzinkingsproces van gegalvaniseerd staal. Samen met TATA wordt een proces ontwikkeld om het zink en ijzer terug te winnen uit deze residuen.



Innovatie opgave 2.6 - Ontwikkeling innovatief verwerkingsproces voor Fe-houdende residuen uit de zinkindustrie en Zn-houdende residuen uit de staalindustrie.

### 7.3.3 Innovatieopgaven vertrouwen, gedrag en acceptatie

#### **Systeemanalyse**

De komende decennia zal het meeste materiaal dat beschikbaar komt voor terugwinning van non-ferrometalen (en andere metalen/materialen) afkomstig zijn uit de enorme materiaalvoorraad in gebouwen, infrastructuur, kapitaalgoederen en langlevende consumentenproducten, die jaren of zelfs decennia geleden ontworpen en gebouwd/geproduceerd zijn. Juist van deze materiaalstromen is weinig bekend over de kwaliteit en kwantiteit. De samenstelling van legeringen is door de jaren heen ingrijpend veranderd. Gedetailleerde data zijn nodig om enigszins te kunnen voorspellen welke metalen, van welke kwaliteit, in welke metaal-/materiaalcombinaties, in welke hoeveelheden, waar en wanneer op de markt komen. Zonder die kennis kunnen we geen inschatting maken van de benodigde capaciteit en flexibiliteit van de benodigde logistieke draaischijven en fysieke verwerkingsinstallaties, zowel voor 'zuivere' materiaalstromen als voor specifieke metaal- en materiaalcombinaties en voor gemengde afvalstromen. Een steeds terugkerend probleem bij het voorkómen van lekken uit de materiaalstromen door de economie is het gedistribueerde karakter van de bronnen van secundaire materiaalstromen. Huishoudens kunnen niet belast worden met zeer fijnmazige gescheiden inzameling, die ook nog eens een daarbij passende fijnmazige infrastructuur vereist, en veel extra transportbewegingen veroorzaakt. Aan de andere kant zijn er beperkingen aan de mogelijkheden van terugwinning van materialen uit gemengde afvalstromen. Zo zijn bijvoorbeeld Mg en Li problematische legeringselementen in de recycling van Al. Dergelijke legeringen dienen beslist gescheiden te blijven van andere Al-legeringen om kwaliteitsverlies te voorkomen. Hiervoor is specifieke karakteriserings- en scheidingstechnologie nodig.

Gegeven de enorme diversiteit van toepassingen van metalen zal nieuwe kennis moeten worden opgebouwd over welke kwaliteiten welke bewerkingen moeten ondergaan voor de overgang naar alle andere gebruiksdoelen. De verwachting is dat het aantal kwaliteiten, en daarmee de variatie in tussenliggende productiestappen, nog enorm zal toenemen. Deze zogenoemde *open loop supply chain* benadering veronderstelt een markt voor hergebruik van materialen die gebaseerd is op breed gedeelde industriële standaarden en business modellen. Afhankelijk van de technische en commerciële kansen voor waardetoevoeging kunnen zo nieuwe waardeketens ontstaan die de toekomstige context zullen vormen voor handel in en logistiek van (ferro- en non-ferro-) metalen.

Een gedetailleerde systeemanalyse zal ook antwoord moeten geven op de vraag of, en zo ja, van welke non-ferrometalen, een strategische voorraad zou moeten worden aangehouden ten behoeve van de Nederlandse maakindustrie.

*Zie innovatieopgave 1.1 - Systeemanalyse, -monitoring en -evaluatie*

#### **Institutionele condities**

In het uitvoeringsprogramma circulaire maakindustrie wordt gekeken naar de randvoorwaarden om hergebruik en recycling van non-ferro metalen versneld op gang te krijgen. Via de ontwikkeling van (recyclings)technologieën worden nieuwe toepassingen mogelijk, met circulair ontwerpen worden nieuwe producten en diensten gecreëerd, via nieuwe businessmodellen en circulair inkopen worden nieuwe markten aangeboord, met uniforme meetmethoden en standaarden worden deze nieuwe markten vergroot en door te letten op leveringszekerheid wordt schaalbaarheid niet belemmerd.

De instituties van een circulaire economie garanderen dat het retourcircuit (transport en verwerking) geregeld is op het moment dat er nieuwe producten en materialen op de markt worden gebracht. *Ownership* van die nieuwe producten en materialen is daarin een belangrijke factor. Hoe dat te regelen bij producten/materialen met een lange levensduur is een punt dat nader onderzoek vergt, evenals een 'last resort' optie voor het geval een materiaal-owner failliet gaat. Voor toepassingen waarin niet gegarandeerd kan worden dat materialen die problematisch zijn voor recycling, apart gehouden worden na afdanking van de betreffende producten, dient een verbod op de betreffende toepassing te worden overwogen.

Een belangrijke conditie om het weglekken van non-ferrometalen uit de economie te voorkómen is de realisatie van een transparante markt waarin op basis van gedetailleerde technische specificaties van stromen wordt geproduceerd, verhandeld, opgeslagen en geleverd. Dit vereist een uitbreiding van bestaande standaarden en verdienmodellen, mogelijk vanuit bestaande maar ook van nieuwe materiaalverwerkers. De institutionele condities voor het tot stand komen en duurzaam functioneren van deze nieuwe markt dienen verkend te worden. Mogelijk zijn nieuwe publieke investeringen, publiek-private arrangementen, internationale afspraken en/of steunmaatregelen voor de opstart van nieuwe materialenmarkten nodig.

Innovatieopgaves 3.1 - Transparantie van de markt en 3.2 - Minimale lekkage uit de kringloop .  
Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie

Wanneer een product niet meer voldoet aan de originele specificatie van de eerste toepassing, kan het vaak voor een alternatieve toepassing nog wel ingezet worden. En zo een tweede of derde leven krijgen. Op die manier kan recycling nog even uitgesteld worden. Hier moeten dan wel de wettelijke mogelijkheden voor bestaan. Als voorbeeld kan het gebruik van afgekeurde mobiliteitsbatterijen in alternatieve toepassingen als buffer/peakshaving/nood-batterij worden genoemd worden. Omdat de huidige EU regeling een gebruikte batterij na afkeur als mobiliteitsbatterij classificeert als afval, is hergebruik in een alternatieve toepassing moeilijk uitvoerbaar. Ook de huidige aansprakelijkheid voor terugnemen van de batterij door de OEM is een beperkende factor om hergebruik te stimuleren.

Samen met de huidige wetgeving voor het grensoverschrijdend transport van afval leidt dit tot sub-economische schaal van verwerkingsfaciliteiten voor non-ferrometalen (beperkte grootte van inzamelingsgebied voor NL). Terugwinnen van non-ferrometalen zal op Europese schaal moeten worden beschouwd.

Bestaande patenten van recyclingprocessen leiden op dit moment tot een beperkt aantal verwerkingsbedrijven voor non-ferrometalen in Europa. Met als gevolg beperkte concurrentie en hoge prijzen. Er is daarom behoefte aan nieuwe processen en meer transparantie in de markt.

Producten worden na gebruik ook verscheept (e.g. mobiele telefoons, elektrische apparaten) naar buiten Europa, waar vaak goede recyclingfaciliteiten ontbreken en deze producten uiteindelijk eindigen als *landfill*. Dit vormt een lek van waardevolle metalen en het leidt bovendien tot milieu- en gezondheidsschade in het betreffende land. Verbeterde wetgeving en controle op dit gebied is noodzakelijk.

## 7.4 Stakeholders/actoren

De metalurgische (basis metaal)industrie (inclusief ijzer en staal) is in Nederland verenigd in de VNMI (Verenigde Nederlandse Metallurgische Industrie). De kennis en ervaring op het gebied van metallurgie is nogal verspreid in Nederland. Het is daarom van belang dat effectieve samenwerkingsverbanden en consortia ontstaan tussen overheid, industrie, kennisinstututen en onderwijs. Een voorbeeld hiervan is het initiatief om een metallurgische campus te ontwikkelen in de regio Zuid-Oost Brabant, waarbij de ontwikkeling en start-up van metaal en metallurgische processen en concepten voor energieopslag worden gecombineerd met industriële activiteiten op economische schaal. De synergie met de nabijgelegen zinksmelter draagt bij tot de lokale aanwezigheid van metalurgische kennis en ervaring. Het initiatief voor het ontwikkelen van de METALOT Campus (60 ha industrieterrein waarvan h Ha gereserveerd is voor ontwikkeling en start-up in samenwerking met studenten van de Technische Universiteiten) is genomen door de Provincie Noord Brabant, Gemeente Cranendonck, TU Eindhoven en Nyrstar. METALOT werkt nauw samen met Brainport Eindhoven, TU Delft, TNO/ECN en de industrie in Zuid Oost Brabant en elders in Nederland.

Belangrijke stakeholders zijn de inzamelingsbedrijven van non-ferrometalen (ARN en Stibat, SIMS, etc) en de OEM's (dealers vertegenwoordigd in de ARN, VDL, Daf, etc) die de aansprakelijkheid houden van de mobiliteitsbatterijen na gebruik. Zij streven naar concurrerende verwerkingslonen voor het recycleren van gebruikte producten bestaand uit ferro- en non-ferrometalen en plastics.

## 8 Deelprogramma 5: CCS

### 8.1 Programmatische aanpak

#### 8.1.1 Introductie

CCS is volgens het Ontwerp Klimaatakkoord voor een aantal processen in de industrie de meest voor de hand liggende optie voor het realiseren van CO<sub>2</sub>-emissiereductie doelen op de korte termijn. De benodigde duurzame energie en technologie om tot structurele emissiereductie van de industriële productieprocessen te komen is tot 2030 nog niet voldoende beschikbaar. Daarnaast komt in een aantal sectoren zo goed als zuivere CO<sub>2</sub> vrij die tegen relatief geringe kosten kan worden afgevangen. Van de ruim vierhonderd bedrijven die onder het ETS vallen, is een kleine 10% verantwoordelijk voor 85% van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het merendeel van deze bedrijven is geconcentreerd in de havengebieden. Dit draagt bij aan een kostenefficiënte uitrol van CCS. Voorbeelden van grote puntbronnen van CO<sub>2</sub> zijn de staalproductie, raffinaderijen, stoomkrakers, AVI's en ammoniakproductie.

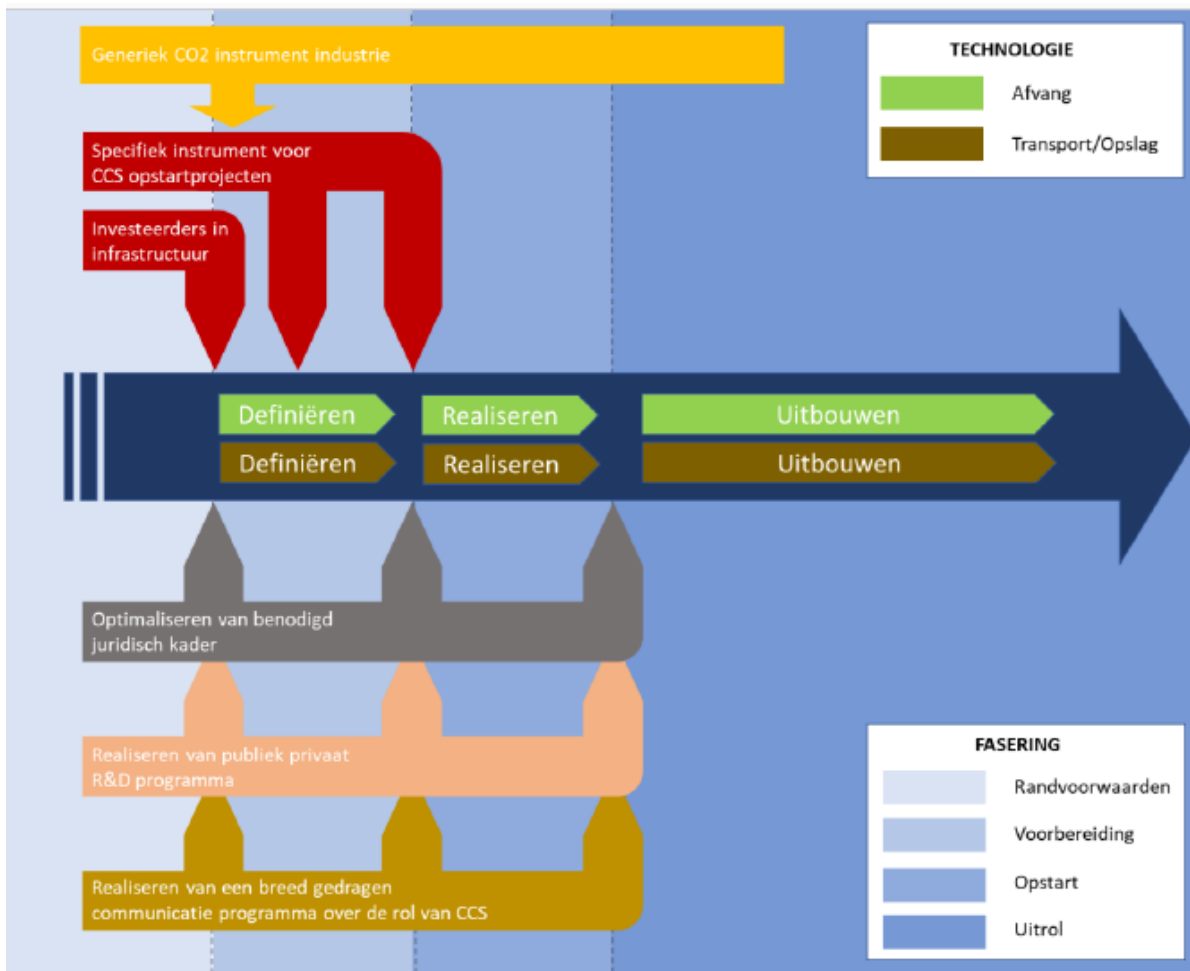
CCS zal met name een rol spelen als optie om op korte termijn snelle emissiereductie te bereiken. Het levert CO<sub>2</sub>-reductie op en de industrie koopt er tijd mee om te investeren in nieuwe ontwikkelingen (zoals bijvoorbeeld elektrificatie) en voorkomt daarmee kapitaalvernietiging. De IEA heeft uitgerekend dat met CCS de energietransitie uiteindelijk goedkoper wordt. Voor de implementatie van CCS is kostendaling nodig, te realiseren via verhoging van het energetisch rendement van afvang en het ontwikkelen van een betaalbare transport- en opslaginfrastructuur. Vanwege de impact op infrastructuur en het maatschappelijke debat rond CO<sub>2</sub> opslag is maatschappelijke inbedding noodzakelijk.

PBL, IPCC en IEA constateren dat negatieve emissies ofwel het onttrekken van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer noodzakelijk is om de klimaatdoelen te halen. Een voorbeeld hiervan is de afvang en opslag van CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van biobased grondstof in ketels of centrales, bij afvalverbranding (van biogene fractie) of bij de productie van biobrandstoffen (BECCS, Bio Energy with CCS).

In deze MMIP wordt een onderscheid gemaakt tussen CCS en CCU. Voor sommige technieken is er een overlap en synergie tussen CCS & CCU. Zo wordt afvang en transport van CO<sub>2</sub> beschreven in dit deelprogramma.

Onderstaand schema in Figuur 5 toont de innovatieopgaven in de tijd. De planning voor CCS (CCS Routekaart als leidraad) ziet er als volgt uit:

- ~ 2025: Eerste grootschalige CCS project (2-4 Mt/j)
- Vanaf 2025: Uitrol tot 7 Mt/j (klimaatdoelen).
- Vanaf 2030: Negatieve emissies: BECCS (Bio-Energy + CCS), DACCS (Direct Air Capture + CCS)
  - Direct Air Capture wordt ook genoemd bij CCU. Eerste toepassingen zullen waarschijnlijk CCU zijn en waar mogelijk kan gebruik gemaakt worden van synergie.



Figuur 4: Innovatieopgaven omtrent de uitrol van CCS in de tijd.

## 8.1.2 Doelen deelprogramma CCS

De doelen voor dit deelprogramma zijn als volgt:

- Realisatie van minimaal één grootschalig CCS project (2-4 Mton/jaar) in de periode 2023-2025 met afvang van CO<sub>2</sub> in de industrie bij een of meerdere puntbronnen en opslag onder de Noordzee in bijvoorbeeld één of meerdere lege aardgasvelden.
- Realisatie van 7 Mton/jaar CCS in de periode na 2025.
- Kostenreductie CCS.
- Verlagen procesrisico's en verlagen milieu-impact.
- Maatschappelijke acceptatie van CCS.

### 8.1.3 Circulaire grondstoffen en processen

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Realisatie eerste grootschalige CCS project	Realisatie eerste grootschalige CCS project: 2-4 Mt/j in 2025	Afvang: Voorbereiden eerste project voor CO2 afvang op gebied van Veiligheid, Milieu, Kosten en leren voor toekomstige projecten	x	x	x			x
		Transport & Systeemintegratie: Voorbereiden eerste project + noodzakelijke voorbereiding voor toekomstige projecten, omdat de transport infrastructuur de basis wordt voor verdere opschaling. Onderwerpen zijn veiligheid, kosten, CO2-standaard, mechanismen voor het afstemmen van vraag en aanbod (buffering), inpassing grootschalige blauwe waterstof.	x	x	x		x	x
		Opslag: Voorbereiden eerste Storage locaties + noodzakelijke voorbereiding voor toekomstige storage locaties, inclusief hergebruik bestaande Olie & Gas infrastructuur op de Noordzee	x	x	x		x	x
		Uitvoeren eerste grootschalige CCS project	x	x	x			x
Significante opschaling van CCS in de industrie	Realisatie van meerdere grootschalige CCS projecten: 7Mt/j na 2025	Afvang: optimalisatie / nieuwe processen voor specifieke industrieën.	x	x	x		x	x
		Afvang: Pilot/DEMO voor nieuwe processen	x	x	x		x	x
		Transport en Systeemintegratie: Voorbereiden en optimaliseren op gebied van veiligheid, kosten, CO <sub>2</sub> kwaliteit en mechanismen voor het afstemmen van vraag en aanbod (buffering).		x	x			x
		Opslag: Voorbereiden en optimaliseren afvang locaties (>2025)		x	x			x
Demonstratie negatieve CO <sub>2</sub> emissie ketens	Realisatie negatieve emissie CCS projecten: >1Mt/j na 2030	Afvang: BECCS; testen van afvang onder relevante industriële condities, inclusief gas impurities en de impact van retrofitting, inclusief de integratie in de ketens.	x	x	x			x
		Afvang: DACCS; verdere ontwikkeling van kosteneffectieve Direct Air Capture processen		x	x	x	x	
		Afvang: Moonshot processen, zoals bv 99% afvang ipv 90% afvang en elektrochemische afvang.	x	x	x	x		
		Transport en Systeemintegratie: optimaliseren van het hele system, inclusief de opschaling van BECCS, DACCS & CCU		x	x		n.v.t.	

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

## 8.1.4 Vertrouwen, gedrag en acceptatie

Innovatieopgaven	Ambitie/Positie 2030	Stappen/ Activiteiten (binnen de innovatieopgave):	Planning			Fase / TRL		
			'20-'22	'22-'24	'24-'26	1-3	4-6	7-9
Beleid en implementatie	Stabiele Regelgeving & Incentives voor eerste grootschalige CCS project én verdere uitrol	Afstemming met Europese wetgeving (Storage Directive)	x	x		n.v.t.		
		Nieuwe businessmodellen die CCS-ontwikkeling in de industriële sector ondersteunen	x	x	x			
		Verder onderzoek naar beleidsinstrumenten om implementatie van CCS in industrie te ondersteunen en analyse van synergiën of bottlenecks met instrumentarium voor andere oplossingsrichtingen (bijv. CCU, industriële symbiose, waterstof)	x	x				
CCS Publieke Perceptie	CCS als geaccepteerde noodzakelijke (deel)oplossing van het klimaatprobleem.	Verder onderzoek van de mechanismen waarmee percepties van stakeholders worden gevormd en ontwikkelen van best practice benaderingen voor verbeteren betrokkenheid	x	x	x			
		Onderzoek naar maatschappelijke haalbaarheid en acceptatie	x	x	x			
Actief CCS R&D Programma om geïntegreerde CCS R&D mogelijk te maken en zo de innovatie te versnellen	CCS R&D Programma	Oprichten van een Programma Bureau, (à la CATO2) dat het CCS R&D programma opzet, coördineert en monitort	x	x	x			

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

## 8.2 Stand van zaken CCS

Wereldwijd wordt CO<sub>2</sub> afgevangen en opgeslagen op een schaal van circa 20 Mton/jaar. Dit gebeurt onder meer door de bevordering van aardolieproductie (EOR, een vorm van CCU) en bij de aardgasproductie. De Sleipner en Snohvit velden in Noorwegen zijn voorbeelden van de laatste categorie, hier wordt 0,5-1,0 Mton/jaar aan CO<sub>2</sub> opgeslagen in ondergrondse aquifers.

Nederland heeft circa 1600 Mt opslagcapaciteit onder de Noordzee. Met een opslag van 7Mt/jaar (klimaatakkoord) betekent dit dat er nog voor ruim 200 jaar opslagcapaciteit is. In Nederland vindt nog geen CCS plaats. Sinds 2004 loopt het CATO-programma, een onderzoeksprogramma voor CO<sub>2</sub> Afvang, Transport en Opslag. CATO-1 startte als samenwerkingsverband van 17 partners en liep van 2004-2008, CATO-2 kende 35 partners en liep vervolgens van 2010-2014. Sinds 2015 onderhoudt het CATO-programmabureau het netwerk en verzorgt het kennisuitwisseling van projecten die via het topsectorenbeleid worden ondersteund. Het netwerk bestaat uit bedrijven uit de energie- en industriesector, onderzoeksinstellingen en consultants.

In Nederland zijn twee consortia bezig met vergevorderde plannen: Porthos en Athos. In Porthos werken Havenbedrijf Rotterdam, Gasunie en EBN en daaraan via CO<sub>2</sub>TransPorts gelieerd de havenbedrijven van Antwerpen, North Sea Port en de Deltaregio, aan de voorbereiding van een project waarbij CO<sub>2</sub> van de industrie uit de Rotterdamse haven wordt verzameld en opgeslagen in gasvelden onder de Noordzeebodem. Een ander deel van de CO<sub>2</sub> kan gebruikt worden in de kassen in Zuid-Holland (2 Mton in 2030). Omdat de tuinders door de CO<sub>2</sub>-levering geen aardgas meer verbranden om aan CO<sub>2</sub> voor hun gewassen te komen in de zomer (de zomerstook), bespaart dit aardgas en daarmee CO<sub>2</sub>-emissies bij de tuinder. Ook kunnen de tuinders dan overschakelen naar duurzame verwarming in de winterperiode, bijvoorbeeld via geothermie. CO<sub>2</sub>-levering aan tuinders is een vorm van CCU (Carbon Capture and Usage). Deze optie wordt beschreven in het deelprogramma CCU.

Tata Steel, EBN, Gasunie en Havenbedrijf Amsterdam bereiden het project Athos voor dat vanaf ca. 2027 voorziet in de grootschalige afvang, transport, opslag, én hergebruik van CO<sub>2</sub> (5-6 Mton). Andere projecten zijn: Aramis (Den Helder), H-vision (via blauwe waterstof, zoekt aansluiting bij Porthos), H2M (Noord-Nederland, blauwe waterstof uit Noors aardgas, afvang en teruglevering CO<sub>2</sub> aan Noorwegen voor opslag), Bio-CCS (RWE, Eemshaven), Chemelot (OCI)<sup>32</sup>. Vier Nederlandse afvalbedrijven zijn bezig met de voorbereiding van CO<sub>2</sub>-afvang. Twence bedrijft al enkele jaren een pilotinstallatie, AVR in Duiven werkt aan de realisatie van een commerciële afvanginstallatie (100 kt/j) voor levering aan de glastuinbouw (CCU).

BECCS is een route die leidt tot negatieve emissies. CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij bio-energie productie wordt afgevangen en opgeslagen. In Nederland produceert Alco Energy in Rotterdam bioethanol, het CO<sub>2</sub> dat bij het vergistingsproces vrijkomt wordt afgevangen, gezuiverd en via een ondergrondse leiding aan de glastuinbouw geleverd (CCU). In principe is het op termijn ook mogelijk om CO<sub>2</sub> die vrijkomt op te slaan. Het Illinois Industrial CCS project betreft een bio-ethanolplant in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag met een capaciteit van 1 Mton per jaar. De Mikawa elektriciteitscentrale in Japan draait sinds 2017 volledig op biobased grondstof en verwacht in 2020 de vrijkomende CO<sub>2</sub> op te slaan. De beschikbaarheid van voldoende duurzaam geproduceerde biobased grondstof op de lange termijn kan een beperkende factor worden. Het deelprogramma Biobased grondstof als grondstof voor industrie en transportbrandstoffen gaat hier nader op in.

Op het vlak van Direct Air Capture zijn in Nederland een viertal start-up bedrijven actief en evenveel universitaire onderzoeksgroepen. De afvang van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer zal naar verwachting als eerste toepassing vinden in CCU-routes (zie deelprogramma CCU). Bijvoorbeeld in de Nederlandse glastuinbouwsector, waar een relatief kleine concentratieverhoging van CO<sub>2</sub> al interessant kan zijn. Op langere termijn kan DAC in combinatie met CCS mogelijk ook bijdragen aan het realiseren van negatieve emissies.

---

<sup>32</sup> Bron: Industrietafel, Joint fact finding CCS, 2018.

De innovatieopgaven die specifiek samenhangen met CO<sub>2</sub>-afvang en transport in relatie tot DACSS en BECCS worden in dit deelprogramma beschreven.

## 8.3 Innovatieopgaven

Er zijn geen showstoppers voor implementatie van CCS op het vlak van technologie en innovatie. De kennis om CCS veilig en voldoende efficiënt af te vangen en te transporteren is beschikbaar. Wereldwijd gebeurt dit al, ook op de schaal die voor Nederland relevant is. Opslag op Mton/jaarschaal in een verlaten gasveld is wereldwijd een noviteit. Ook hier geldt: de technische kennis is aanwezig, maar door de uniciteit bestaat de kans dat onverwachte onderzoeksvragen aan de orde gaan komen.

De implementatie van CCS vergt ook juridische inpassing in het Nederlandse rechtssysteem, nieuwe afspraken binnen ketens en draagvlak in de maatschappij.

### 8.3.1 Innovatieopgaven ontwerp voor circulariteit

De innovatieopgaven hebben betrekking op de volgende aspecten (waarvan een deel van de opgaven ook van belang zijn voor CCU, met name die van afvang en transport):

- **Efficiënter afvangen.** Het afvangen van CO<sub>2</sub> is voor een aantal industrieën de grootste kostenpost. Nieuwe scheidingstechnologieën met lagere energiebehoefte zijn interessant, net als procesintegratie in de industrie. Ook is efficiënter gebruik van het extractiemiddel een zinvol onderzoeksthema. Wereldwijde ervaring leert dat er sprake is van degradatie van het extractiemiddel onder meer door invloed van zuurstof in de rookgassen. Ook kan aërosolvorming leiden tot ongewenste emissies. Het voorkómen van deze en andere effecten is belangrijk voor minimalisatie van de kosten. Naast typische afgas 'solvents' zijn er ook scheidingstechnologieën die zich meer lenen voor hoge T, hoge P, zoals de ECN-ontwikkeling SEWGS, die nu in Zweden op pilotschaal in een staalfabriek wordt beproefd. En voor HISARNA, dat in wezen een oxyfuel techniek is, gaat het om het opzuiveren van de CO<sub>2</sub> in plaats van het zuiveren van het afgas.
- Voor de (middel)lange termijn is behoefte aan onderzoek naar:
  - Sorbents en sorbent processen
  - Moonshot processes: processen die de minimale thermodynamische energievraag benaderen. Dit zou bv. kunnen door moleculaire systemen te ontwikkelen waarmee door een binding tient(tallen) CO<sub>2</sub>-molekulen worden gebonden in plaats van één (zoals nu het geval is)
- **Veiligheid van transport en opslag.** Het efficiënt monitoren van de CO<sub>2</sub> in de ondergrond, het ontwikkelen van materialen die de duurzaamheid en de kwaliteit van het cement rondom de put verhogen (zelfdichtend onder invloed van CO<sub>2</sub>) en de optimale CO<sub>2</sub>-kwaliteit in relatie tot de proceskeuzes zijn nog relevante onderzoeksthema's. Ook is het karakteriseren van een opslagreservoir is een onderzoeksonderwerp.

In Nederland bestaan plannen om tot grootschalige productie van blauwe waterstof te komen (H<sub>2</sub>-vision). Dit is waterstof die geproduceerd wordt uit aardgas, waarbij de vrijkomende CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en opgeslagen (CCS). Dit leidt tot twee aanvullingen op bovenstaande innovatieopgaven: het optimaliseren/opschalen van de CO<sub>2</sub>-afvang en het inpassen van deze specifieke CO<sub>2</sub>-stroom in het transport- en opslagsysteem.

- **Ketenoptimalisatie.** Onderzoek naar het opvangen van schommelingen in vraag en aanbod en impact op de flow (inclusief schommelingen in relatie tot de vraag in de glastuinbouw) en optimalisatievraagstukken rondom kleine schoorstenen (rookgassen samenbrengen in een grote afvanginstallatie, of aantal kleinere afvanginstallaties) zijn hier onderdeel van. Porthos is wereldwijd ook uniek omdat verschillende CO<sub>2</sub>-afvangs op hetzelfde net gaan invoeden, met ieder hun eigen geplande (en ongeplande) stops, en er bovendien een markt is voor CO<sub>2</sub> voor de glastuinbouw.



- **Monitoringsprogramma.** Onderdeel van de implementatie dient ook de ontwikkeling van een monitoringprogramma te zijn. In deze context heeft monitoring betrekking op het monitoren van de CO<sub>2</sub>-opslag in de gasvelden. CE Delft stelt in haar routekaart CCS voor om minimaal een protocol op te stellen. Hierin worden (door de overheid) zowel de tijdsspanne als de methoden voor de monitoring bepaald. Dit protocol moet meer zekerheid geven over de inhoudelijke beoordeling en besluitvorming alsmede over hoe de betrokken partijen procesmatig met elkaar zullen omgaan. EBN en Gasunie adviseren in hun studie om te onderzoeken of het mogelijk is om de eisen omtrent monitoring bij CO<sub>2</sub>-opslag meer op maat te maken voor de Nederlandse situatie (opslag in lege gasvelden). De huidige regelgeving stelt namelijk eisen die voortkomen uit de opslag in aquifers.
- **BECCS.** Een belangrijke route om negatieve emissies te realiseren is Bio-Energy with Carbon Capture Storage (BECCS). Een voorbeeld hiervan is de afvang en opslag van CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van biobased grondstof in ketels of centrales, bij afvalverbranding (de CO<sub>2</sub> afkomstig van de biogene fractie) of bij de productie en gebruik van bepaalde biobrandstoffen voor de transportsector. Onderzoeksvragen die betrekking hebben op het afvangen van CO<sub>2</sub> richten zich vooral op afstemming van afvangtechnologie op de afwijkende procescondities en variabele afgassamenstellingen bij BECCS, plus de impact daarvan op de efficiëntie van afvangtechnologie.
- **Direct Air Capture** betreft het afscheiden van CO<sub>2</sub> uit lucht. Deze CO<sub>2</sub> kan gebruikt worden als grondstof (CCU) of direct worden opgeslagen (DACCS), waardoor negatieve emissie ontstaat. Voor het afvangen van CO<sub>2</sub> uit lucht is onderzoek nodig naar:
  - solvent/sorbent ontwikkeling
  - energie-efficiëntie
  - procesontwikkeling en opschaling
  - integratie met CO<sub>2</sub> gebruik.

De IKIA (maart 2019) geeft aan dat veel van bovenstaande ontwikkelingen zich op demonstratieschaal bevinden (TRL 7-8). De ervaring leert dat de ontwerp/constructie/operatie-fase leidt tot nieuwe onderzoeksvragen (bijvoorbeeld in de projecten Boundary Dam, ROAD). De juridische aspecten en maatschappelijke acceptatie hebben extra aandacht nodig.

Direct Air Capture bevindt zich nog op een laag TRL-niveau (TRL 1-4). Het TRL-niveau van BECCS zit op TRL 6-9.

### 8.3.2 Innovatieopgaven vertrouwen, gedrag en acceptatie

- Onderzoek naar het **juridische kader** omtrent inpassing van CSS. Er is een beperkte Europese regeling, maar er zijn nog veel onduidelijkheden bijvoorbeeld ten aanzien van toegang tot CCS faciliteiten. Zo hangt de business case voor investeringen in CCS voor een groot deel af van de verplichtingen die een operator van CCS infrastructuur krijgt opgelegd. Dit roept een aantal juridische onderzoeksvragen op. Krijgt een operator van een CCS installatie de verplichting andere partijen toegang tot zijn infrastructuur te bieden (TPA, third party access) en zo ja, op welke juridische grond en onder welke voorwaarden? De verplichtingen en de uitzonderingen daarop moeten onderzocht worden in relatie tot de CCS Directive (2009/31/EC), de Gas Directive (2009/73/EC) en de mededinging wetgeving. Daarnaast dient onderzocht te worden wat de kosten en baten van verplichtingen rond TPA zijn voor de operators van CCS infrastructuur. Verder is de verplichtte kapitaalreservering voor het lekkage-risico (waardoor op een later moment ETS rechten moeten worden gekocht) een potentiële showstopper voor CO<sub>2</sub> opslag.
- **Onderzoek naar publieke perceptie en acceptatie.** Onderzoek naar de wijze waarop percepties bij stakeholders worden gevormd en best practices voor het vergroten van de publieke acceptatie van CCS als een belangrijke deeloplossing voor het klimaatprobleem. Heetzelfde geldt voor de ontwikkeling van nieuwe participatiemodellen.

## 8.4 Randvoorwaarden/beleid nodig voor implementatie

Een randvoorwaarde voor implementatie is dat de industrie zicht heeft op een solide business case.

Een belangrijk knelpunt in het huidige innovatie instrumentarium is dat op grond van het van toepassing zijnde steunkader (de algemene groepsvrijstellingsverordening) geen steun aan demonstratieprojecten voor CCS kan worden verleend. Dit probleem is erkend en voor CCS focust het ministerie van EZK vooralsnog op stimulering van implementatie via exploitatiesubsidie (SDE<sup>++</sup>).

Het is van belang dat alle partijen participeren die de benodigde transport- en opslaginfrastructuur gaan ontwikkelen en beheren. Zolang die infrastructuur er niet is, zullen er ook geen partijen zijn die gaan investeren in de afvang, noch in het openhouden van gasvelden waarin CO<sub>2</sub> kan worden opgeslagen.

Daarnaast is aandacht nodig voor juridische inpassing. CE Delft constateert in haar routekaart CCS (2018) dat afspraken nodig zijn rondom risicogaranties voor CO<sub>2</sub>-operators.

Een cruciale factor in de realisatie van CCS is het verkrijgen van voldoende maatschappelijke acceptatie. En omdat de termijn tot de gewenste implementatie zeer kort is, kan een gebrek aan maatschappelijke acceptatie een vertragende factor vormen op het behalen van de CO<sub>2</sub>-reductiedoelen. Hoe kunnen de burgers/NGOs vroegtijdig worden betrokken bij CCS projecten teneinde bij te dragen aan de realisatie van draagvlak? Er is een start gemaakt met een communicatiestrategie, verdere versterking van het vergroten van het maatschappelijk inzicht en draagvlak is gewenst.

## 8.5 Stakeholders/actoren - CCS

Voor CCS onderscheiden we de volgende (groepen van) stakeholders/actoren:

- CO<sub>2</sub> Emitters:
  - Afvalverwerkers: o.a. AVR, TWENCE
  - Industrie: o.a. DOW, OCI, SHELL, TATA, Port of Rotterdam
  - H-Vision
- CO<sub>2</sub> gebruikers (CCU):
  - o.a. Chemische Industrie, Solar Fuels, ...
  - EOR/EGR
  - Glastuinbouw
- Service providers:
  - Capture: o.a. CarbonOro, SHELL, SIEMENS, TechnipFMC, Kisuma, Jacobs, Linde, DOW
  - Transport & Storage: o.a. DNV, EBN-Gasunie/Athos&Porthos&Aramis, OCAP, SHELL, TAQA
- Kennispartijen:
  - TO2: ECN.TNO
  - Universiteiten: o.a. LU, RUG, TUE, TUDelft, UTwente, UU
  - Internationaal: o.a. ECCSEL, EERA-CCS, UKCCSRC
- Overheid (incentives, vergunningen, regelgeving)
  - EZK
  - RVO
  - SODM
  - Topsector Energie
  - Internationaal: EC, ERANET-ACT, Mission Innovation
- NGO's
  - o.a. Greenpeace, Natuur & Milieu, Urgenda

In de CATO programma's is gebleken dat een geïntegreerd onderzoeksprogramma efficiënt en effectief is voor de ontwikkeling van CCS. Voor een volgend programma is het daarom belangrijk dat stakeholders van de gehele keten in een gezamenlijk onderzoeksprogramma samenwerken. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van het CATO Consortium, dat bovendien goed ingebed is in Europese CCS organisaties en netwerken, zoals CO2Geonet, ECCSEL, EERA-CCS en ZEP en waarvan de leden veel internationaal samenwerken in internationale CCS projecten.

## 8.6 Omgevingsanalyse en omgevingsfactoren

CCS kan een significante bijdrage (> 7 Mton/jaar) leveren aan de Nederlandse klimaatdoelen van 2030 en verder. Uiteindelijk zal het Nederlandse bedrijfsleven dit moeten doen en daarvoor is het volgende nodig:

- Incentives (wortel en stok) voor bedrijfsleven. Omdat het om grote investeringen gaat, moeten dit langdurige, stabiele incentives zijn.
- Regelgeving moet gestroomlijnd worden.
- Publieke perceptie moet gemanaged worden.

Hieronder staan de 7 functies van technologische innovatiesystemen (van Hekkert) en hoe Nederland hier voor CCS relatief t.o.v. EU op scoort.

Functie	CCS NL tov EU	Opmerking
F1 ondernemers activiteiten	Gelijk/beter	Verschillende ondernemers bereiden zich voor.
F2 kennis ontwikkeling	Beter	Door TKI-CCUS, CATO programma en deelname in internationale CCUS projecten.
F3 kennisdiffusie	Beter	Door CATO & internationale disseminatie activiteiten.
F4 richting geven aan het zoekproces	Beter	Nationale klimaatdoelen duidelijk. Klimaatakkoord nog niet getekend.
F5 creëren van markten	Gelijk/beter	ETS stimuleert nog niet tot investeren; SDE++ gaat dat mogelijk wel doen.
F6 mobiliseren van middelen	Beter	Door TKI-CCUS en deelname in internationale CCUS projecten.
F7 creëren van legitimiteit	Gelijk	Meeste NGO's zien (met tegenzin) noodzaak CCS.

Hierbij moet aangemerkt worden dat Nederland samen met Noorwegen en Engeland tot de top behoort in de EU. Dit heeft met name te maken met de volgende Nederlandse aspecten:

- Nederland heeft op de Noordzee voldoende opslagcapaciteit in lege gasvelden.
- In Nederland wordt relatief veel CO<sub>2</sub> uitgestoten uit puntbronnen die geconcentreerd zijn in een clusters aan de kust, zoals Rotterdam, Amsterdam/IJmuiden, Zeeland en Eemshaven.
- Nederland heeft een sterke off-shore industrie en een sterke proces industrie.

## 8.7 Communicatie, leren en disseminatie

CATO fungeert in Nederland als kennisplatform, en borgt de volgende aspecten:

- Gezamenlijk onderzoek met kennisinstellingen en doelgroepen (eindgebruikers).
- Bouwen/onderhouden van het CATO onderzoeksnetwerk, door CATO conferenties, workshops en CATO website.
- Goede inbedding in internationaal onderzoek, door deelname aan internationale CCS netwerken en door deel te nemen aan internationale CCS onderzoeksprojecten en programma's. Disseminatie van onderzoeksresultaten middels (internationale) conferenties en wetenschappelijk publicaties.