

TNO 2023 R11007 - VERKENNING NET ZERO INDUSTRY ACT
– 31 mei 2023
Verkenning Net Zero Industry Act

Quickscan van 6 technologieën

Auteurs	Finn Speijer, Karin van Kranenburg
Rubricering verslag	TNO Publiek Rubricering geclassificeerd door Rubricering datumRubricering geldigheidstermijn
Titel	TNO Publiek
Verslagtekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	22
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Verkenning Cleantech Europe
Projectnummer	060.56199

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2023 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
1 Inleiding.....	3
1.1 Achtergrond.....	3
2 Resultaten quickscan.....	5
2.1 Inleiding op de resultaten	5
2.2 Elektrolyse.....	7
2.3 CCU toepassingen.....	10
2.4 Chemische recycling van plastics	12
2.5 Biomassa voor chemie	14
2.6 Geothermie	16
2.7 Elektriciteitsnetten / smart grid technologie.....	19
3 Conclusies.....	20
4 Interviews en Literatuur	22
4.1 Interviews.....	22
4.2 Literatuur.....	23

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vindt het belangrijk, dat Nederland goed aangesloten is op de Net Zero Industry Act (NZIA) van de Europese Commissie. De NZIA is onderdeel van een groter Europees plan (het Green Deal Industrial Plan) voor het versterken van de Europese ‘net-zero’ industrie en het versnellen van de transitie naar klimaatneutraliteit. De NZIA heeft als doel een bijdrage te leveren aan het vergroenen en versterken van de Europese maakindustrie op het gebied van klimaattechnologie (net zero technologie).

Om te bepalen wat de inzet van Nederland wordt in de onderhandelingen over de NZIA, wenst EZK inzicht in de Nederlandse positie in technologieën die een rol (kunnen) spelen in de NZIA. EZK heeft TNO gevraagd een quickscan te doen naar de Nederlandse positie in de waardeketen van een zestal van deze technologieën, inclusief kansen en bottlenecks. De volgende technologieën zijn onderdeel van de quickscan:

- Elektrolyse
- CCU toepassingen
- Chemische recycling van plastics
- Biomassa voor chemie
- Geothermie
- Elektriciteitsnetten / smart grid technologie

In deze quickscan geeft TNO een eerste inzicht in de Nederlandse positie in de waardeketens van bovenstaande technologieën. Op verzoek van EZK richt deze studie zich op de maakindustrie die ten grondslag ligt aan de technologieën (zoals een elektrolyser) en niet de producten die voortkomen uit deze maakindustrie (zoals waterstof). De informatie in dit rapport is tot stand gekomen door middel van literatuuranalyse en interviews met domeinexperts van TNO en dossierhouders van EZK.

Deze quickscan geeft daarmee een eerste beeld van de kansen en bottlenecks van deze technologieën voor de Nederlandse maakindustrie in Europese en mondiale ketens. De bredere ketens (inclusief toepassingen) en verdieping op specifieke aspecten van de keten vallen buiten de scope van deze studie.

Net Zero Industry Act (NZIA)

De transitie naar een klimaatneutrale industrie en de bijbehorende transitie van het energiesysteem biedt kansen voor de groei van de maakindustrie in net zero technologieën. De mondiale markt voor deze technologieën groeit tot 2030 tot circa €600 miljard per jaar – een verdrievoudiging van het huidige niveau (International Energy Agency, 2023). Diverse landen willen een belangrijk deel van deze markt binnen hun grenzen faciliteren en daarmee investeringen uit de rest van de wereld aantrekken. Een voorbeeld is de Verenigde Staten – zowel een partner als een concurrent – waar in 2022 de Inflation Reduction Act (IRA) is aangenomen. De IRA bevat onder andere een stimuleringspakket voor de verduurzaming van de Amerikaanse economie door middel van belastingvoordelen en subsidies aan bedrijven die investeren in duurzame technologieën (RVO, 2023).

In deze context heeft de Europese Commissie (EC) in maart 2023 haar voorstel voor het Green Deal Industrial Plan (GDIP) gepresenteerd (EC, 2023). In dit voorstel presenteert de EC haar plannen voor het ondersteunen van de net zero industrie in Europa. De Net Zero Industry Act (NZIA) is onderdeel van het GDIP en is gericht op het versimpelen van regelgeving en het versterken van het investeringsklimaat voor technologieën die essentieel zijn voor het bereiken van de klimaatdoelen van de EU. Hiermee beoogt de NZIA bij te dragen aan het doel van de EU om in 2030 tenminste 40% van de benodigde net zero technologieën binnen de EU te produceren (EC, 2023). De NZIA ondersteunt strategische net zero technologieën die commercieel beschikbaar zijn (of dat binnenkort worden) en de potentie hebben om op korte termijn sterk op te schalen (EC, 2023).

De EC heeft in haar voorstel voor de NZIA (maart 2023) een achttal strategische net zero technologieën voorgesteld. De lidstaten mogen reageren op dit voorstel en daarbij aanvullingen aandragen, onder andere op de net zero technologieën die binnen de NZIA vallen. Enkele van de in deze quickscan onderzochte technologieën zijn (nog) niet benoemd in het voorstel van de EC. De inzichten uit de voorliggende rapportage kan EZK gebruiken bij de overwegingen over de Nederlandse inzet voor welke technologieën toegevoegd moeten worden aan de net zero technologieën in de NZIA.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt elk van de zes geselecteerde technologieën in een aparte paragraaf behandeld, vooraf gegaan door een inleiding over de samenhang tussen de technologieën. In de paragrafen wordt zo veel mogelijk dezelfde opbouw aangehouden: een korte overview van de technologie, gevolgd door opbouw van de waardeketen in de maakindustrie, kansen en bottlenecks en de rol die de NZIA kan spelen. De paragrafen worden afgesloten met suggesties voor verdiepend en/of verbredend vervolgonderzoek.

In hoofdstuk 3 beschrijven we enkele overkoepelende observaties over de verschillende technologieën heen. Dit rapport geeft geen aanbevelingen over op welke technologieën Nederland zou moeten inzetten – het probeert een eerste inzicht te geven in de positie en kansen van de Nederlandse maakindustrie.

Voor verdere verdieping wordt verwezen naar de literatuur in hoofdstuk 4. Hier worden tevens de geïnterviewde experts benoemd.

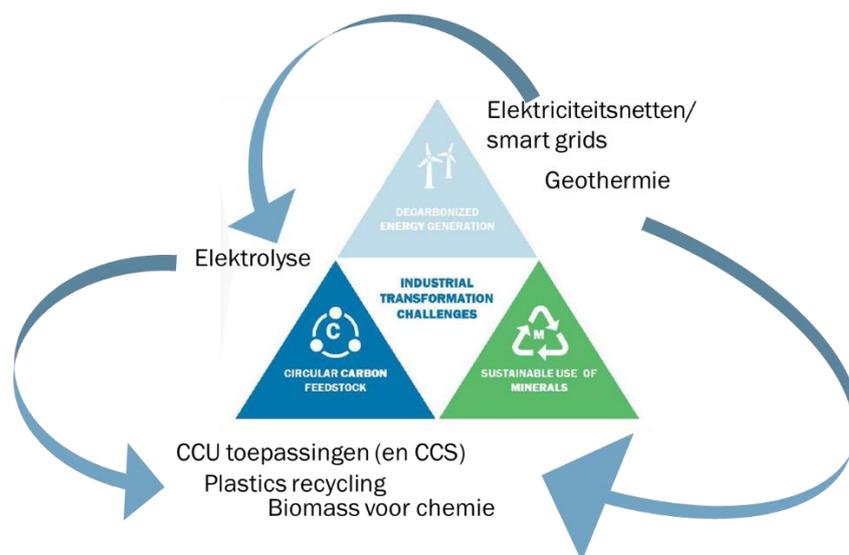
2 Resultaten quickscan

2.1 Inleiding op de resultaten

De transformatie naar een duurzame industrie kent veel uitdagingen. In de basis zijn deze terug te brengen tot de volgende drie elementen (Grimbergen, 2022):

- Een transitie naar een duurzame energievoorziening
- Het vervangen van het gebruik van fossiele koolstof door circulaire carbon (bijvoorbeeld uit biomassa of direct air capture) (Pie)
- Duurzame winning en gebruik van mineralen, die nodig zijn voor het realiseren van de transitie.

De geselecteerde technologieën zijn als volgt in te delen naar deze drie onderdelen, die nodig zijn voor de transformatie naar een duurzame industrie (zie Figuur 1):



Figuur 1 De uitdagingen voor de transformatie naar een duurzame industrie, de mapping van de 6 technologieën daarop, en hun onderlinge samenhang.

- Geothermie en smart grids dragen bij aan een duurzame energievoorziening.
- Elektrolyse maakt gebruik van elektriciteit uit duurzame bronnen, maar tegelijk kan waterstof gebruikt worden als energiedrager. Ook is de geproduceerde waterstof een belangrijke grondstof voor chemicaliën die geproduceerd worden uit duurzame koolstof.
- Zowel een duurzame energievoorziening als de waterstof uit elektrolyse (of uit een andere circulaire bron) is nodig voor de productie van chemicaliën, gebaseerd op circulaire koolstof, waar de onderwerpen CCU toepassingen, chemische recycling van plastics en biomassa voor chemie onder vallen.
- Duurzaam gebruik van mineralen is belangrijk voor achterliggende technologieën, zoals bijvoorbeeld het gebruik van schaarse metalen bij de productie van elektrolyzers, windturbines, zonnepanelen en batterijen voor mobiliteit en elektriciteitsopslag.

De technologieën hangen onderling dus sterk samen. Daarnaast overlappen de technologieën elkaar gedeeltelijk. Dat geldt met name voor de drie chemische technologieën: zo kan CO₂ uit biogas (biomassa voor chemie) gebruikt worden voor CCU toepassingen. Ook maken de technologieën soms gebruik van dezelfde kennisbasis. Zo is kennis van de ondergrond, die in Nederland volop aanwezig is vanuit de historie in olie- en gaswinning, van belang voor zowel geothermie als CCS .

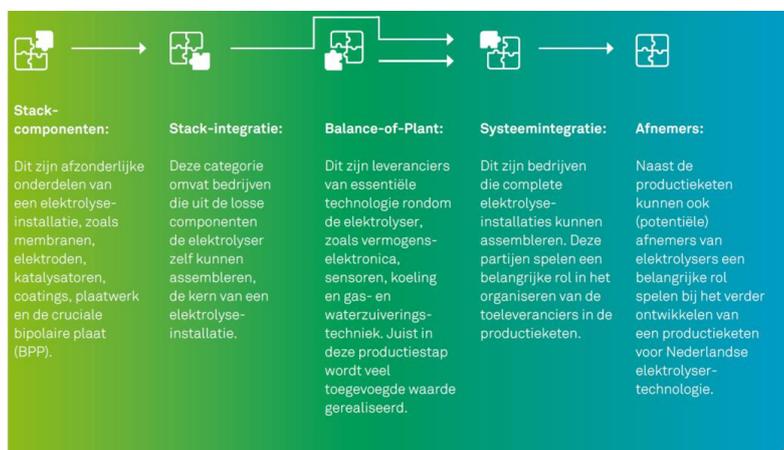
2.2 Elektrolyse

Overview

In een elektrolyser wordt water met behulp van elektriciteit gesplitst in zuurstof en waterstof (zonder dat hierbij CO₂ vrij komt). Productie van groene waterstof op industriële schaal is een belangrijke stap voor de energietransitie. Elektrolyse bestaat al ruim een eeuw, (er zijn al grote systemen gerealiseerd), maar de ontwikkeling ervan heeft zicht niet doorgezet vanwege opkomst van fossiel (o.a. aardgas in de jaren 70) (Burg, Welke rol speelt waterstof in de energie transitie?, 2023). De technologie staat aan het begin van de ontwikkeling (ongeveer waar zon-PV 20 jaar geleden stond). De verwachting is dat de vraag naar elektrolyzers binnen nu en 2030 sterk zal toenemen. De wereldwijd totaal geïnstalleerde capaciteit bedraagt nu minder dan 1 GW, terwijl dat in 2030 40 tot 100 GW moet zijn in de EU. Nederland heeft als doel 4 GW te produceren in 2030 (dit doel wordt verhoogd naar 8 GW) (TNO; FME, 2020) (Suurs, et al., 2023) (Suurs, et al., 2020). Technologieën die binnen 5-10 jaar opgeschaald kunnen worden zijn de Alkaline- en de PEM-elektrolyzers. SOE-, AEM- en PCCE-elektrolyzers zijn andere veelbelovende technologieën die zich echter, qua ontwikkeling, die momenteel in ontwikkeling zijn. Voor alle technologieën geldt dat er, in de periode tot 2030 en daarna, nog substantiële uitdagingen bestaan op het gebied van materiaalgebruik, engineering, automatisering en systeemintegratie. Regulatory sandboxes kunnen hierbij een rol spelen, met name voor volgende generatie technologieën.

Waardeketen

In onderstaande figuur (Figuur 2) wordt inzicht gegeven in de structuur van de productieketen van elektrolyzers¹.



Figuur 2 schematische weergave van de productieketen van elektrolyzers (TNO; FME, 2020)

Nederland speelt vooralsnog een kleine rol in stack-integratie en systeemintegratie – met name Duitsland is hierin leidend. Wel spelen Nederlandse partijen een rol in de ontwikkeling en productie van stack-componenten, Balance-of-Plant en in toepassingen van groene waterstof in bijvoorbeeld chemie. Dit biedt kansen voor Nederlandse bedrijven met kennis en ervaring op het gebied van materialen, componenten, assemblage en integratie. Tegelijkertijd is er sprake van serieuze internationale competitie (TNO; FME, 2020).

¹ In (Suurs, et al., 2023) een uitgebreide (industriële) waardeketen van groene waterstof beschreven – waar elektrolyzers een belangrijk onderdeel van zijn. Deze waardeketen kan als basis dienen voor verder onderzoek naar specifieke sterktes van de Nederlandse high-tech maakindustrie in de productie van elektrolyzers

Niches waarin Nederlandse partijen betrokken zijn en hierin een belangrijke rol (kunnen) spelen zijn onder andere coatings en dunne film technologie (stack componenten), technologie rondom elektrolyzers (Balance-of-Plant) en op het gebied van next-gen High Tech of machinebouw.

Enkele Nederlandse partijen die actief zijn in de waardeketen²:

- Nieuwe systemen: Battolyser, XINTC, Avox, Circonica Hygro Global
- Systeem integratie: VDL, Demcon, MTSa, Hygear, Hyet Etrol
- Coating technologie: Spark Nano, VSParticle, IMP Delft, SALD
- Componenten: Bosal
- Balance of Plant: Balance of Plant: Pro Drive Technologies (power electronics), Hygear, Hyett.
- Buitenlandse bedrijven actief in Nederland: Bosch (voorheen Frames), Plug Power. Magneto, Veko, Ionbond Schaeffler (voorheen Hydron)

Kansen en Bottlenecks

Kansen:

De huidige productieprocessen van bestaande (1^e generatie) elektrolyser technologieën zijn nog niet of maar beperkt geautomatiseerd en er is nog veel sprake van handwerk. Dit betekent dat er nog innovatieslagen nodig zijn in de techniek, maar ook in optimalisatie in de keten (o.a. in kosten, efficiency en materiaalgebruik). Nederland speelt hier slechts een beperkte rol. Het is nog onduidelijk hoe de technologie zich gaat ontwikkelen en welke type elektrolyser(s) over tien jaar de standaard zullen zijn.³

Voor Nederlandse bedrijven zijn er kansen in 2^e of 3^e generatie elektrolyzers van bestaande technologieën als PEM en Alkaline, maar ook in nog minder ver ontwikkelde technologieën als SOE en AEM zit voor Nederlandse bedrijven potentie. Hierbij liggen kansen op specifieke componenten (zoals dunne film technologie en coating), maar ook voor bedrijven in geavanceerde technieken op andere plekken in de waardeketen⁴ (Nationaal Waterstof Programma, 2022).

Het 'wortelen' van complementaire bedrijven in de waardeketen zal daarbij belangrijk zijn bij het bouwen en versterken van een regionaal / nationaal ecosysteem van gerelateerde bedrijvigheid. Hierin spelen ook toepassers van elektrolyzers (de waterstof keten) een rol: hier heeft Nederland een goede uitgangspositie vanwege de geografische ligging aan de Noordzee en bijvoorbeeld het sterke chemie cluster.

Bottlenecks:

Om de groene waterstof doelen (4-8 GW in Nederland en 40-100GW in EU in 2030) te halen, is een grote groei van de productie van elektrolyzers nodig. Deze groei is door de gehele keten heen benodigd en vereist opschaling en afstemming van nationale en Europese initiatieven (zowel in financiering, afstemming als regelgeving). Voorbeelden hiervan zijn verruimde mogelijkheden voor het financieren van opschaling, op Europees niveau standaardiseren van regels en een EU programma voor elektrolyse ontwikkeling zodat een lock-in in 1^e generatie voorkomen wordt. Voor Nederland is een versterking van de infrastructuur op het gebied van ontwikkeling, testen, en valideren van geavanceerde componenten en systemen voor bedrijven gewenst. Daarnaast is een belangrijke bottleneck

² Voorbeelden ter illustratie, deze lijst is niet uitputtend

³ In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende 'innovatiegeneraties' om de ontwikkeling van elektrolyzers en bijbehorende kansen voor de (high-tech) maakindustrie te duiden (Suurs, et al., 2023).

⁴ Voor een uitgebreider inzicht in de kansen voor de maakindustrie in verschillende onderdelen van de waardeketen wordt verwezen naar (Nationaal Waterstof Programma, 2022) – Hoofdstuk 13.

voor de huidige technologie de beschikbaarheid van kritieke materialen zoals iridium (zie volgende paragraaf) en de beschikbaarheid van cruciale componenten zoals PLC besturingssystemen (wachtijd nu 2 jaar) (Suurs, et al., 2023) (Burg, Green Hydrogen Innovation @TNO, 2023).

Een grote uitdaging is om de leercurve van de technologie ontwikkeling te versnellen. Op dit moment zie we dat een beperkte groep grote bedrijven de waterstof productie projecten ontwikkelt en dat de mate van kennisdeling (op gebied van technologie en waterstof veiligheid) in deze projecten nog beperkt is. Onder andere omdat de Nederlandse overheid voornemens is deze groene waterstof productie projecten met miljarden te financieren is het van essentieel belang dat er een zo breed mogelijk groep hiervan profiteert waaronder de Nederlandse maakindustrie en dat de kennisontwikkeling versneld wordt (Suurs, et al., 2020).

Rol van NZIA

De NZIA kan een rol spelen in het verruimen van mogelijkheden voor financiering van opschaling van productie van elektrolyzers. Voor Nederland is relevant een focus op ontwikkeling, testen, en valideren van geavanceerde componenten en systemen zodat Nederlandse bedrijven worden gesteund bij het verzilveren van hun kennispositie. Ook kan de NZIA een rol spelen bij het versnellen van vergunningstrajecten door voorrang te (laten) geven aan prioritaire projecten. Tot slot kan gekeken worden naar mogelijkheden om technologie ontwikkeling te versnellen door kennis- en data deling te intensiveren en in dat proces bijdragen aan de ontwikkeling van standaarden.

Vervolgonderzoek

Mogelijke vragen voor vervolgonderzoek:

- Hoe kunnen tegelijkertijd zowel bestaande technologieën worden opgeschaald als nieuwe technologieën verder worden ontwikkeld?
- Nederland heeft kennis en startups in componenten, Balance-of-Plants en toepassingslocaties en infra. Met welke partners kan Nederland samenwerken (bijv. partijen die systemen produceren), wat voor kansen biedt dat voor Nederland en hoe kan daarop worden ingezet?
- Hoe kan de technologie die binnen elektrolyzers nodig is en waar Nederland koploper in is (bijv. dunne film technologie) gebruikt worden in andere technologieën (bijvoorbeeld batterijen)? Is er sprake van een onderliggende kennisbasis die voor meerdere toepassingen bruikbaar is?
- Hoe afwegen wanneer in te zetten op standaardisatie: niet te vroeg, (risico van verkeerde keuze), maar ook niet te laat, want bedrijven willen zekerheid en er is behoefte aan uitwisselbaarheid en snelheid?
- 'Balance-of-Plant' (leveranciers van technologie rondom elektrolyzers in de waardeketen) is een containerbegrip voor allerlei ondersteunende activiteiten. Waar liggen specifieke kansen voor Nederland – ook in aanpalende industrieën? (Bijvoorbeeld in geïntegreerde systemen zoals offshore waterstof windmolen (Hygro) of batterij met waterstof productie (Battolyser)).

2.3 CCU toepassingen

Overview

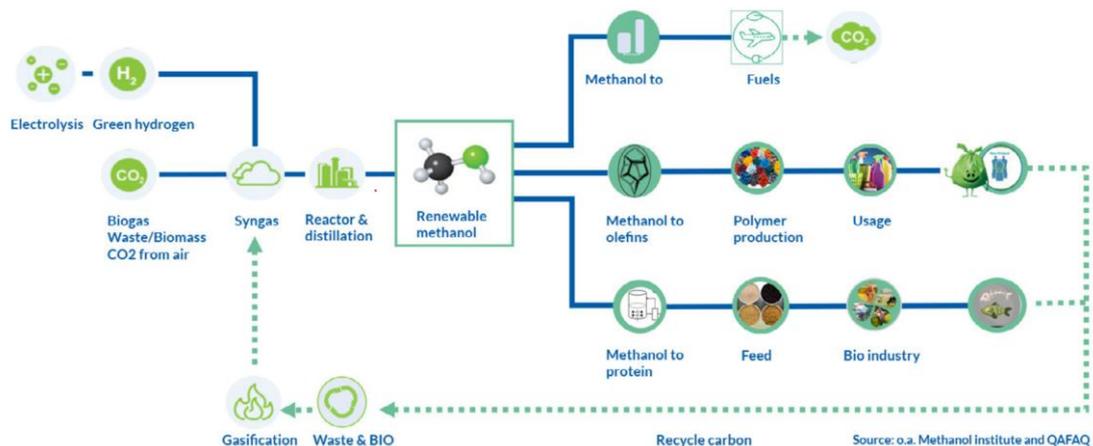
Bij Carbon Capture en Utilisation (CCU) wordt koolstof afgevangen en hergebruikt voor de productie van chemicaliën, zoals methanol, mierenzuur, ethyleen en propyleen. Deze chemicaliën kunnen dienen als brandstof voor mobiliteit (bijvoorbeeld methanol), en als grondstof voor het produceren van andere chemicaliën (uit methanol kunnen bijvoorbeeld olefinen en aromaten gemaakt worden) en brandstoffen (bijvoorbeeld methanol naar kerosine of diesel). Daarnaast kunnen bouwmaterialen, polymeren en eiwitten voor de voedingsindustrie geproduceerd worden. Voor de productie van de chemicaliën kan elektrochemie worden toegepast.

De koolstof kan afgevangen worden van fossiele puntbronnen, zoals een kolencentrale. In dat geval is de koolstof echter niet circulair. Dit is wel het geval, wanneer de koolstof wordt afgevangen uit de atmosfeer (Direct Air Capture), of wanneer koolstof uit biomassa of (deels biogene) afvalverbranding wordt gebruikt.

Een alternatief voor het hergebruiken van afgevangen CO₂ is het opslaan ervan: Carbon Capture and Storage (CCS). De afgevangen koolstof kan bijvoorbeeld in lege gasvelden in de Noordzee worden opgeslagen, zoals in het Porthos- en Aramisproject.

Waardeketen

In Figuur 3 is de waardeketen voor productie en gebruik van groene methanol weergegeven. In Nederland is reeds een ecosysteem aanwezig dat invulling geeft aan alle onderdelen van de keten, zij het op beperkte schaal.



Figuur 3 Waardeketen voor groene methanol; bron: Voltachem, gebaseerd op o.a. Methanol Institute en QAFAQ

Kansen en Bottlenecks

Omdat op basis van de genoemde op circulaire koolstof gebaseerde chemicaliën, en in het bijzonder op basis van methanol, een zeer groot deel van alle chemicaliën, brandstoffen en plastics geproduceerd zouden kunnen worden, is CCU een belangrijke route tot het verduurzamen van de chemische industrie. Daarnaast kan de toepassing van CCU impact hebben op de verduurzaming van andere sectoren, waaronder mobiliteit.

In Europa, en met name in Duitsland, is al een behoorlijk aantal bedrijven actief, vooral voor de productie van chemicaliën en brandstoffen. Maar ook in de VS zijn er steeds meer

startups actief, en in China wordt veel onderzoek gedaan naar CCU toepassingen. Enkele voorbeelden van bedrijven die in Nederland actief zijn, zijn Twence (afvangen van CO₂ uit rookgassen en hergebruik) en Coval (productie van formaten uit afgevangen CO₂).

Voor Nederland liggen er vooral kansen op het gebied van technologieontwikkeling, bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van efficiënte katalysatoren en plasmatechnologie (zie bijvoorbeeld Brightsite, 2021).

Het is niet de verwachting, dat in de toekomst alle benodigde duurzame methanol en andere van de genoemde chemicaliën grootschalig in Nederland geproduceerd zullen worden. In andere landen zal dat tegen aanzienlijk lagere kosten kunnen, en daarnaast kent Nederland schaarste op het gebied van ruimte (Detz, Hers, Schipper, & Westerga, 2021) en elektriciteit uit duurzame bronnen (van Kranenburg, E-fuels: towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation, 2020). Wel kan Nederland een rol spelen in het produceren van chemicaliën met een hogere waarde, waarbij de groene commodity's als grondstof worden gebruikt; ook hier zal het echter een uitdaging zijn om de huidige productievolumes, bijvoorbeeld voor polymeerproductie, in stand te houden. De hogere kosten ten opzichte van op fossiele bronnen gebaseerde chemicaliën en ten opzichte van productie elders zijn daarbij een drempel.

Nederland heeft veel relevante kennis van het afvangen van CO₂ (o.a. op het gebied van solvents) en kennis van de ondergrond, die relevant is voor CCS, bijvoorbeeld op het gebied van injectie, monitoring en seismiek, waarmee Nederland een internationale technologiepositie zou kunnen verwerven voor CCS. Op dit gebied ligt wel concurrentie op de loer van landen als Noorwegen, Canada en de VS.

Rol van NZIA

Op het gebied van CCU toepassingen zijn veel kleine bedrijven actief. Bij het versnellen en opschalen lopen deze bedrijven aan tegen hoge aanloopkosten en risico's, en lange aanlooptijden. Daarom hebben deze bedrijven behoefte aan financiële steun vanuit de overheid. Op dit moment lopen zij echter aan tegen strenge eisen aan voor subsidiering vanuit de Nederlandse overheid. Op basis van de NZIA zou dit eenvoudiger gemaakt kunnen worden, zodat concurrerende voorwaarden geboden kunnen worden ten opzichte van bijvoorbeeld de VS; deze laatste heeft een significant bedrag gereserveerd voor stimulering van CCU en CCS. Daarnaast zou vanuit de NZIA vergunningsverlening eenvoudiger kunnen worden gemaakt.

De NZIA kan het uitbouwen van de technologiepositie van Nederland op het gebied van CCU en CCS zo stimuleren. Om weglekken van kennis en activiteiten waarin Nederland heeft geïnvesteerd te voorkomen, is het belangrijk om in Nederland (en Europa) ecosystemen van bedrijven op te bouwen. Vanuit deze ecosystemen kan technologie worden opgeschaald, die kan worden geëxporteerd naar landen buiten Europa, om zo ook elders de industrie te verduurzamen.

Vervolgonderzoek

Bij CCU toepassingen is het systeemperspectief belangrijk. Veel van de chemicaliën worden bij voorkeur geproduceerd in een continu proces, terwijl de elektriciteitsproductie uit duurzame bronnen een intermitterend karakter heeft. Onderzoek naar hoe de productie van de chemicaliën flexibel(er) kan worden gemaakt enerzijds, en hoe het energiesysteem zo kan worden ingericht, dat deze zoveel mogelijk kan voorzien in de meer continue behoefte aan elektriciteit en waterstof van de chemie is daarom belangrijk.

2.4 Chemische recycling van plastics

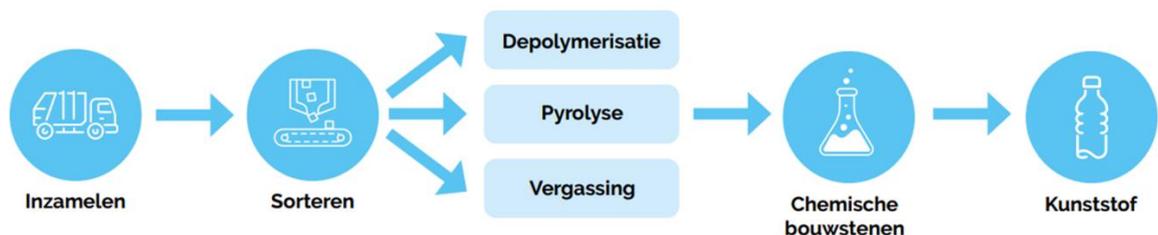
Overview

Wanneer afvalplastics niet op een mechanische manier gerecycled kunnen worden, kan chemische recycling een oplossing bieden. Bij chemische recycling worden de chemische structuren van het afval veranderd. Hiervoor worden verschillende technologieën toegepast. De belangrijkste zijn vergassing, pyrolyse en depolymerisatie. Daarnaast worden er technologieën ontwikkeld op basis van dissolutie en solvolyse. Via verschillende chemische processen kunnen uit de bouwstenen die zo ontstaan, weer plastics geproduceerd worden. Bij vergassing ontstaat syngas, dat in een Fischer-Tropsch proces gebruikt kan worden voor de productie van nafta (of in de toekomst via methanol naar olefinen), waaruit plastics geproduceerd kunnen worden. Ook pyrolyse-olie kan worden bijgemengd in naftakrakers. Bij depolymerisatie en solvolyse vindt conversie plaats naar monomeren, die als grondstof dienen voor de productie van nieuwe plastics.

Chemische recycling vormt dus een goede aanvulling op mechanische recycling en kan een significante bijdrage leveren aan het verder circulair maken van de industrie voor de productie van plastics. Daarnaast kan bij chemische recycling een kwaliteit gerealiseerd worden, die gelijk is aan die van virgin plastics, zodat het product ook ingezet kan worden voor bijvoorbeeld voedselverpakkingen.

Waardeketen

In Figuur 4 wordt de waardeketen weergegeven, met daarin de technologieën zoals hierboven beschreven.



Figuur 4 Waardeketen voor chemische recycling van plastics; afbeelding afkomstig van (PlasticsEurope, 2021)

Kansen en Bottlenecks

Op dit moment heeft Nederland een aanzienlijk positie in de productie van polymeren. Het op peil houden van deze productiecapaciteit van 5,5 Mton per jaar is een grote uitdaging, gezien de lagere kosten elders. Chemische recycling kan een belangrijke rol spelen in het circulair maken van deze industrie en op die manier bijdragen aan de reductie van scope 3 emissies binnen en buiten Nederland.

Nederland heeft een sterke technologiepositie op het gebied van pyrolyse. In de verschillende chemieclusters in Nederland wordt geïnvesteerd in en gebouwd aan first-of-a-kind demonstratie fabrieken voor pyrolyse (e.g. Plastics Energy & SABIC; BlueAlp & Shell, Clariter & BioBTX). Diverse pyrolysetechnieken (lage en hoge temperatuur) zijn in ontwikkeling/opschaling (zoals Synova, Xycle) en fundamentele kennis is aanwezig bij universiteiten (TUD, RUG, UT) en TNO. Ook heeft Nederland kennis van vergassing van plastic afval naar syngas, dit is met name ontwikkeld richting biobrandstoffen, op basis van plasticrijk biogeen afval (SRF), nu vooral geschikt als brandstof voor de cementindustrie. Zoals hierboven al toegelicht, kan het syngas ook gebruikt worden als grondstof voor de

basischemie. Voorbeelden van bedrijven in Nederland, die actief zijn op het gebied zijn van chemische recycling via depolymerisatie, zijn Indorama, Ioniqa en CuRe (beide depolymerisatie van PET). Daarnaast beschikt Nederland over een nationaal testcentrum voor circulaire plastics in Hoogeveen, gericht op het verder ontwikkelen van kennis over sorteren en wassen van plastics voor mechanische en chemische recycling. Ook via het Groeifonds Circulaire Plastics NL investeert Nederland substantieel in de technologiepositie.

Naast productie van plastics op basis van chemische recycling, zou Nederland kunnen investeren in het opbouwen en uitbouwen van een technologiepositie, zowel rond het commoditiseren en verwerken van de afvalstromen als voor het produceren van hoogwaardige kunststoffen met veel functionaliteit (in combinatie met biomassa als grondstof voor de chemie).

De volgende bottlenecks spelen een rol:

- Om op grote schaal plastics te produceren, is een koolstofbron nodig. Op dit moment wordt daarvoor olie geïmporteerd. Ook circulaire stromen (afval, maar ook biomassa) zouden in theorie geïmporteerd kunnen worden, maar deze stromen zijn zeer volumineus en de ruimte in Nederland is schaars en duur. Verwerking van afvalstromen naar goed transporteerbare commodity's zoals pyrolyseolie (uit pyrolyse) of methanol (uit vergassing) gebeurt daarom in de praktijk meestal dicht bij de bron. Door deze tussenproducten te importeren, kan Nederland alsnog voorzien in de koolstofbehoefte voor de productie van plastics.
- De kosten van op fossiele bronnen gebaseerd plastic zijn lager dan die van gerecycled plastic, waarbij chemisch gerecycled plastic nog hogere productiekosten kent dan mechanisch gerecycled plastic. Wel biedt gerecycled plastic kansen voor het realiseren van EU doelstelling rondom het circulair maken van (voedsel)verpakkingen.
- Voor het afbreken van de afvalstromen tot grondstoffen is zowel voor het proces als de resulterende grondstof (zoals pyrolyseolie) nog standaardisatie nodig.
- Daarnaast liggen er uitdagingen in de productie van hoogwaardige moleculen, waarbij er een spanningsveld is tussen de functionaliteit van de plastics enerzijds, en de recyclebaarheid anderzijds.
- De wetgeving rond einde afvalstatus en vergunningsverlening is in Nederland een drempel voor bedrijven om te investeren in chemische recycling. Het onderscheid tussen afvalverwerking en chemie vervaagt, en leidt tot onduidelijkheid.

Rol van NZIA

De NZIA kan een rol spelen in het vereenvoudigen van vergunningsverlening en einde afvalstatus voor bedrijven en waardeketens, die chemische recycling willen toepassen.

Vervolgonderzoek

Mogelijke vragen voor vervolgonderzoek:

- Impact van commoditiserings technologie op mogelijkheden downstream: wat kan er nog met een agglomeraat, korrel, olie, etc. worden gedaan op het gebied van mechanische en chemische recycling
- Een overkoepelend systeeminzicht over rol van CCU, biomassa en recycling ontbreekt nog. Een systeemmodel kan helpen om hierin inzicht te geven, bijvoorbeeld door middel van scenariostudies.
- Ontwikkeling van nieuwe ketensamenwerking en bijbehorende business modellen om investeringsrisico's in nieuwe technologie (pyrolyse, vergassing, depolymerisatie) te reduceren, en nieuwe ecosystemen op gang te brengen.

2.5 Biomassa voor chemie

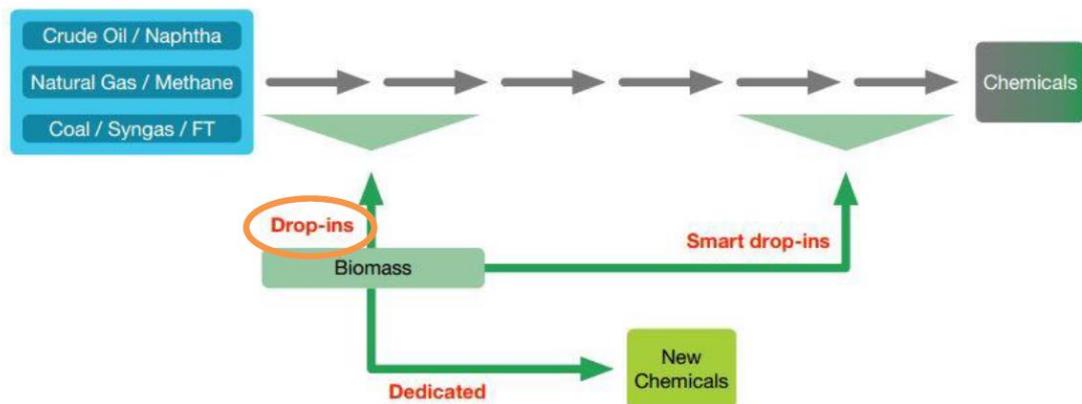
Overview

Biomassa kan een belangrijke rol spelen in de verduurzaming van chemie, door fossiele bronnen te vervangen als energiebron, maar vooral als grondstof. Belangrijke technologieën voor het bruikbaar maken van biomassa voor chemie zijn vergassing, pyrolyse en fermentatie (Osman, Mehta, Elgarahy, Al-Muhtaseb, & Rooney, 2021). Bio-methaan, dat ontstaat bij vergassing van biomassa, is reeds opgenomen in de NZIA.

Eenzijds kunnen met bovengenoemde technologieën zogenaamde “drop-in chemicals” worden geproduceerd, die kunnen worden bijgemengd in bestaande processen. Een voorbeeld is het bijmengen van pyrolyse-olie of bionafta in een naftakraker. Anderzijds kunnen “dedicated chemicals” geproduceerd worden uit biomassa, die bestaande chemicaliën geheel vervangen, zoals PEF, (poly)melkzuur en eiwitten.

Waardeketen

In Figuur 5 wordt de waardeketen voor biochemie weergegeven, waarbij enerzijds drop-ins kunnen worden bijgemengd in bijvoorbeeld naftakrakers of raffinaderijen, en anderzijds dedicated chemicaliën uit biomassa kunnen worden geproduceerd.



Figuur 5 Waardeketen voor zowel drop-in chemicals als dedicated chemicals, afbeelding afkomstig van (RoadToBio, 2018)

Kansen en Bottlenecks

Nederland heeft een relatief goede kennispositie in biochemie, en er zijn verschillende bedrijven actief, van de productie van pyrolyse-olie (Twence) en methanol (Gidara) tot de productie van dedicated chemicals, zoals Avantium, dat FDCA produceert, en Corbion, dat via fermentatie van suikers PLE produceert. Andere voorbeelden zijn Vertoro (productie van bio-olie), Nxtlevel (suikers naar levulic acid en afgeleiden) en Lanzatech (EU vestiging op biotechcampus in Delft).

Net als bij CCU toepassingen, is het bij biomassa niet de verwachting dat grootschalig ruwe biomassa in Nederland verwerkt zal worden tot basischemicaliën als methanol. De ruimte in Nederland is schaars (Detz, Hers, Schipper, & Westerga, 2021), de kosten liggen relatief hoog en daarnaast heeft Nederland zelf weinig biomassa beschikbaar. Wel kan het voordelen hebben, om een beperkte strategische productiecapaciteit in Nederland te realiseren (van Kranenburg, et al., 2021), om de technologie-ontwikkeling te stimuleren en de transitie op

gang te brengen, de lokaal beschikbare biomassa te benutten en strategische autonomie te vergroten.

Het importeren van tussenproducten als pyrolyseolie of biomethanol, en het opwerken daarvan kan wel kansen bieden. Ook in de productie van biochemicalïën met hogere waarde, maar kleinere schaal, zoals fermentatie van suikers, liggen kansen.

De kosten van op biomassa gebaseerde brandstoffen en chemicaliën zijn in de meeste gevallen (nog) significant hoger dan die van de fossiele varianten, hoewel biobrandstoffen wel goedkoper zijn dan e-fuels. Daarnaast hebben chemische fabrieken een lange afschrijvingstermijn, wat de transitie naar duurzamere fabrieken vertraagt. Regelgeving en beleid zullen nodig zijn, om de transitie op gang te krijgen, zoals nu reeds gebeurt met de verplichting voor het bijmengen van biobrandstoffen. Hier ligt op dit moment een drempel, omdat binnen de huidige staatssteunkaders nauwelijks ruimte is voor de productie van chemicaliën uit biomassa. Ook de verruiming van de AVGG (algemene groepsvrijstellingsverordening) zal niet voldoende zijn om tot industriële opschaling te komen.

Biomassa is in Nederland op zeer beperkte schaal beschikbaar. Elders in Europa is biomassa wel op grotere schaal beschikbaar (CE Delft, 2020). Vanwege grote onzekerheid in behoefte aan en beschikbaarheid van biomassa, is het moeilijk te zeggen of door alleen import vanuit andere landen in Europa kan worden voldaan aan de behoefte van Nederland aan biomassa en op biomassa gebaseerde tussenproducten.

Omdat de verwachting is, dat de productie van brandstoffen en chemicaliën uit biomassa op mondiale schaal een grote rol zullen spelen in de transitie naar een duurzame industrie, en Nederland een goede kennispositie heeft, liggen er ook op dit onderwerp kansen voor Nederland in technologieontwikkeling.

Rol van NZIA

De NZIA kan door financiële ondersteuning technologieontwikkeling stimuleren. Daarbij zou Nederland zich vooral moeten richten op hogere-waarde chemicaliën, zoals de omzetting van methanol naar olefinen en aromaten, de productie van bio-kerosine en fermentatietechnologie. Daarnaast kan de kennispositie op vergassing van biomassa worden uitgebouwd.

Vergunningen

2.6 Geothermie

Overview

Geothermie behelst de benutting van warmte uit de ondergrond vanaf ongeveer 500 meter en dieper. De Nederlandse ondergrond is goed geschikt voor het toepassen van geothermie. Toepassingen zijn nu vooral te vinden in de glastuinbouw, de gebouwde omgeving en mogelijk in de industrie. In de glastuinbouw en gebouwde omgeving gaat het om directe levering van warmte door middel van warmtenetten. Omdat er voor de glastuinbouw en de gebouwde omgeving relatief lage temperaturen nodig zijn, kan geothermie een goede bron zijn. Voor de industrie zijn meestal hogere temperaturen noodzakelijk (>120 graden C) en zijn toepassingen voornamelijk beperkt, maar er zijn wel studies naar mogelijkheden – bijvoorbeeld naar het koppelen van geothermie aan industriële warmtepompen⁵. Geothermie is op dit moment nog klein in omvang en markt bereik.

Waardeketen

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van belangrijke technische stappen (in de kolommen) en daarnaast ook non-technische prioriteiten (in de rijen) voor de ontwikkeling van geothermie.

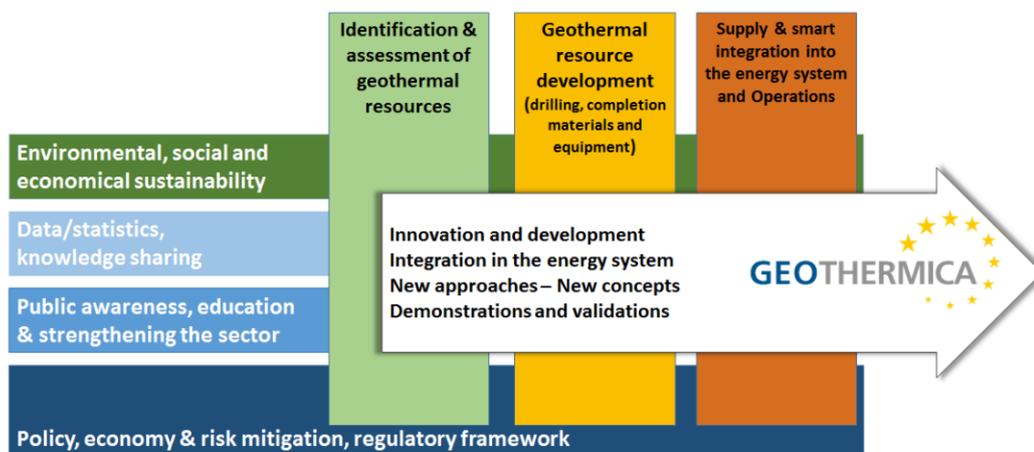


Figure 1: GEOTHERMICA's thematic concept features three technological and four cross-cutting non-technological innovation thematic aspects.

Figuur 6 Technische en non-technische prioriteiten in de ontwikkeling van geothermie (Berg, et al., 2019)

“Identification and assessment of geothermal resources” betreft het analyseren van de eigenschappen van de ondergrond, onder meer door seismisch onderzoek, modelleren en proefboringen. Nederland bouwt voort op olie- en gasexpertise (NL bedrijven: Geologisch onderzoek bij o.a. Fugro, Seismic Mechatronics).

“Geothermal resource development” betreft het realiseren van een geothermie-installatie (boren, aanleggen van putten, verbuizing, cementatie, pompen, bovengrondse installatie).

⁵ Ongeveer 25% van de warmtevraag in industrie zit binnen het bereik van 100-200 graden – voor dat type kan geothermie een oplossing zijn

Nederland heeft expertise in boren (o.a. Huisman, IHC, Canopus, Encore), completion (buizen etc.) (o.a. Huisman Geo, FPI, e.a.) en composieten (Airborne).

“Supply & smart integration into the energy system and Operations” gaat om het toepassen geothermie in het energiesysteem. Toepassingen zijn mogelijk in verschillende markten, in Nederland wordt geothermie nu vooral toegepast in de tuinbouw sector. Nederland heeft expertise in Operators Geothermie (o.a. Shell Geothermal, ECW, HVC, Aardyn e.a.) en warmtepompleveranciers (o.a. Itho Daalderop, Alklima, Nefit, e.a.).

Kansen en Bottlenecks

De huidige (internationale) markt voor geothermie is nog beperkt en er bestaat nog geen consensus over hoe groot de markt gaat worden. In Nederland is geothermie nu vooral gekoppeld aan de glastuinbouw. De grote groei moet echter komen van stadsverwarming via warmtenetten. Zowel in Nederland als in andere Europese landen zijn er veel regio's geschikt voor geothermie. Bovendien zijn er, met name in Oost-Europa, veel warmtenetten in steden aanwezig, die de overgang van fossiele naar duurzame energie moeten maken.

Kansen:

- Koppeling van geothermie aan warmtepompen, om zo een grotere rol te spelen in de industrie
- Voor mogelijke toepassing in de industrie kan er gekeken worden naar ultradiepe geothermie (vanaf circa 4 km diepte) – ingewikkeld en daardoor duurder. Dit wordt in Nederland nog niet opgepakt, maar in het buitenland wordt hier al wel onderzoek naar gedaan.
- Het ‘tussendomein’ tussen ondiep en diep boren (op ca. 500-1000 meter) biedt kansen voor Nederland: lichte drilling rigs kunnen gebruikt worden om warm water op te pompen. Door middel van een warmtepomp kan de temperatuur verder verhoogd worden. Biedt kansen voor Nederlandse toeleveranciers.
- Opzetten van productielijnen van zowel buizen als (composieten) casing voor buizen. De eerste Nederlandse bedrijven zijn nu zo ver dat opgeschaald kan worden naar fabrieksmatige productie.
- Nederland heeft knowhow en bedrijven op het gebied van boortechnologie, in een ecosysteem met zowel startups, multinationals als het voormalige Shell laboratorium waar in lab-setting tot 500 meter diep geboord mag worden.

Bottlenecks:

- De kansen voor geothermie zijn erg afhankelijk van de marktontwikkelingen in deze technologie. De markt is momenteel klein en het is nog onduidelijk hoe groot de markt wordt.
- Publieke acceptatie van boren in de grond is onzeker. Het is al voor gekomen dat geplande geothermie projecten onder druk van publieke opinie zijn uitgesteld (uit angst voor aardbevingen).
- Vergunningverlening voor diepe geothermie verloopt vaak langzaam.

Rol van NZIA

Voor de ontwikkeling van geothermie is het van belang dat de markt snel groeit en er meer projecten worden uitgevoerd – mogelijk kan de NZIA hier een rol spelen. Dit kan bijvoorbeeld door het verruimen van staatssteunkaders waardoor ook het opbouwen van productielijnen toegestaan wordt..

Vervolgonderzoek

- In Nederland is veel kennis beschikbaar over (onderzoek naar) de ondergrond. Hoe kan deze kennis, die nodig is voor geothermie, gekoppeld worden aan andere technologieën (bijvoorbeeld CCU/CCS)? Nederland heeft hier een sterke basis – hoe kan deze worden aangewend?
- Geothermie betreft vaak lokale projecten – en die worden vaak regionaal of zelfs lokaal aanbesteed, onder meer omdat warmtebedrijven vaak overheidsbedrijven zijn. Het is daarom onzeker, welke rol Nederlandse bedrijven buiten Nederland kunnen spelen. Vervolgonderzoek kan meer duidelijkheid brengen.
- Wat zou de rol van de Maakindustrie hier in kunnen zijn en tegen welke problemen loopt men op?

2.7 Elektriciteitsnetten / smart grid technologie

Een goed functionerende elektriciteitsvoorziening is een basisvoorwaarde voor de transitie naar een duurzame industrie in Nederland. Hiervoor is het van belang dat technologieën voor duurzame energie gekoppeld worden aan Nederlandse en Europese elektriciteitsnetten. Volgens het voorgestelde NZIA raamwerk (EC, 2023) vereist dat een substantiële uitbreiding van de productie van onder andere offshore en onshore kabels, substations en transformers. Dergelijke onderdelen worden nu voor het grootste deel geïmporteerd uit andere landen (bijvoorbeeld in Azië). Experts zien weinig kansen voor productie (maakindustrie) van deze apparaten in Nederland, onder andere gezien de relatief hoge productiekosten in Nederland. Daarnaast is het geen innovatieve technologie voor elektriciteitsnetten zelf.

Smart grid technologie betreft het slim koppelen van duurzame opgewekte energie en energie-opslag aan elektriciteitsnetten. Het grid (electriciteitsnet) zelf is niet zo zeer smart, het gaat vooral om het slim koppelen van de gebruiker aan het beschikbare aanbod. Bijvoorbeeld het laden van de elektrische auto wanneer er een overschot aan elektriciteit is. Smart grid technologie betreft dus vooral activiteiten en apparaten die verbonden zijn met het elektriciteitsnet (zoals batterijen, e-boilers, industriële warmtepompen) en niet het elektriciteitsnet zelf. Deze technologieën worden elders in de NZIA behandeld. Het 'smart' gebruiken van deze technologieën heeft vooral te maken met digitalisering en digitale innovaties en niet met opschaling van de maakindustrie die er voor nodig is.

Een voorbeeld van zo'n digitale innovatie is de S2 standaard (voorheen EVI), dit is een interface die ervoor zorgt dat apparaten van gebruikers van duurzame energie kunnen communiceren met producten via hun EMS (Energie Management Systeem). Deze interface is door Nederlandse partijen ontwikkeld en is nu een Europese standaard. De interface zorgt ervoor dat apparaten in bijvoorbeeld woningen en kantoorpanden kunnen communiceren met het netwerk, en zo op een slimme manier gebruik kunnen maken van de elektriciteitsvoorziening. Ook in energyhubs, waarin actoren in een bepaald gebied samenwerken voor vraag en aanbod, opslag en conversie, en zo optimaliseren en voorkomen dat er congestie optreedt, kan de S2 standaard een rol spelen. Deze technologie is al beschikbaar maar nog niet grootschalig uitgerold.

Opschaling van smart grid technologie is dus van essentieel belang voor de transitie naar een duurzame industrie, maar biedt weinig aanknopingspunten voor de Nederlandse maakindustrie. Daarmee past de technologie niet binnen de NZIA.

3 Conclusies

Deze quickscan geeft een eerste inzicht in de positie in de waardeketen en kansen voor de Nederlandse maakindustrie van de zes geselecteerde net zero technologieën. Dit rapport geeft geen aanbevelingen over de technologieën waarop Nederland zou moeten inzetten. Verdiepend onderzoek naar de individuele technologieën is nodig om te weten op welke onderdelen die kansen precies liggen en welke acties nodig zijn om die kansen te verzilveren.

Toch zijn er enkele bevindingen – over de individuele technologieën heen – die we hier willen benoemen:

- De technologieën die van belang zijn voor een net zero industrie (zowel degene die in deze quickscan behandeld zijn als andere NZIA technologie) hangen onderling sterk samen. Daarnaast overlappen de technologieën elkaar gedeeltelijk. Dit betekent dat de omgang met, keuzes over en investeringen in deze technologieën niet geïsoleerd van elkaar, maar juist in samenhang moeten worden afgewogen.
- Er zijn voor de Nederlandse maakindustrie kansen op alle geselecteerde technologieën, mogelijk met uitzondering van Smart Grid Technologie⁶.
- Het is vaak nog onduidelijk hoe een technologie zich de komende tien jaar precies gaat ontwikkelen. Dat maakt het risicovol om nu te kiezen voor een bepaalde richting. Het is op basis van deze quickscan niet mogelijk om keuzes over specifieke aspecten van individuele technologieën te maken.
- Voor de drie technologieën in het chemiedomein (CCU toepassingen, chemische recycling van plastics en biomassa voor chemie) geldt dat het onwaarschijnlijk is dat er in Nederland grootschalige productie van commodity's zal plaatsvinden. De kosten daarvoor liggen in Nederland relatief hoog, en de benodigde ruimte is schaars. Wel kunnen tussenproducten als pyrolyseolie en methanol worden geïmporteerd voor verdere verwerking tot producten met een hogere waarde. Ook is het interessant voor Nederland, om een technologiepositie op te bouwen, om hiermee de transitie te versnellen en de ontwikkelde technologie te exporteren.
- In de quickscan zijn enkele ondersteunende technologieën geïdentificeerd die voor meerdere net zero technologieën van belang zijn. Twee voorbeelden waar Nederland een sterke positie op heeft zijn kennis van de bodem/ondergrond (wordt toegepast in CCU en Geothermie) en dunne filmtechnologie (wordt toegepast in elektrolyse en batterijen). Mogelijk bestaan er meer van deze ondersteunende technologieën die van belang zijn voor meerdere net zero technologieën.

Naast verdiepend onderzoek per individuele technologie (zoals aangegeven in deze rapportage), benoemen we hieronder enkele meer generieke vervolgvragen:

- Synergie tussen technologieën. Bijvoorbeeld: CCU toepassingen, chemische recycling van plastics en biomassa voor chemie zijn alle drie technologieën die gelinkt zijn aan circulaire koolstof. Wanneer zet je dan welke technologie in, en kunnen deze technologieën elkaar versterken?
- Inzicht in doorsnijdende technologieën / componenten die relevant zijn voor meerdere netto-nul technologieën (zoals dunne film)
- Om inzicht te krijgen in hoeverre een technologie echt bij kan dragen aan (een toename van) het Nederlands verdienvermogen zou het interessant zijn om het marktpotentieel per technologie te kwantificeren (daar waar mogelijk)

⁶ Opschaling van Smart Grid technologie is wel van essentieel belang voor de transitie naar een duurzame industrie, maar betreft met name digitalisering en niet de maakindustrie

- Verder concretiseren en uitwerken van de kansen voor Nederland van de in deze studie benoemde technologieën, en van de andere technologieën die reeds in de NZIA zijn benoemd. Dit kan bijvoorbeeld door middel van het maken van een SWOT-analyse met confrontatiematrix en het verder uitwerken van (mogelijke activiteiten in) waardeketens. Hierbij kan ook gekeken worden in hoeverre activiteiten in de waardeketen een plek kunnen krijgen in de NZIA.
- Verder concretiseren hoe de NZIA kan worden ingezet om de positie van de in deze studie benoemde technologieën, en van de technologieën die reeds in de NZIA zijn benoemd, te versterken.
- Als er een koppeling tussen financiering en NZIA komt, wat zou een gewenste vorm hier voor zijn? Welke rol kan het soevereiniteitsfonds spelen?
- Een vergelijking van de kennis/technologiepositie van verschillende technologieën ten opzichte van andere landen
- Koppeling naar schaarsten / systeemgrenzen waar de ontwikkeling van een technologie mee te maken kan krijgen (fysieke ruimte, stikstofruimte, arbeidsmarkt, etc.)

4 Interviews en Literatuur

4.1 Interviews

Algemeen / overkoepelend

Ton Bastein (TNO)
Robert de Kler (TNO)
Reinier Grimbergen (TNO)

Elektrolyse

Paul Verbraak (EZK)
Roald Suurs (TNO)
Lennart van den Burg (TNO)

CCU toepassingen

Elisa Vandermeer (EZK)
Niels Berghout (EZK)
Tom Mikunda (EZK)
Robert de Kler (TNO)
Reinier Grimbergen (TNO)

Chemische recycling van plastics

Edith Engelen (EZK)
Michiel Brons (EZK)
Jan Harm Urbanus (TNO)
Reinier Grimbergen (TNO)

Biomassa voor chemie

Peter Besseling (EZK)
Ayla Uslu (TNO)
Reinier Grimbergen (TNO)
Jan Harm Urbanus (TNO)

Geothermie

Paul Ramsak (EZK)
Gerdie Breembroek (EZK)
Maurice Hanegraaf (TNO)

Elektriciteitsnetten/smart grids

Stephan Leewis (EZK)
Michel Emde (TNO)

4.2 Literatuur

- (sd).
- Berg, v. d., Breembroek, Ramsak, Schreiber, Richter, & Siddiqi. (2019). *Barriers, Opportunities and RD&D needs for geothermal energy*.
- Brightsite. (2021). Advancing towards a circular.
- Burg, v. d. (2023). *Green Hydrogen Innovation @TNO*.
- Burg, v. d. (2023, April 12). *Welke rol speelt waterstof in de energie transitie?* Opgehaald van Planet Cause: https://www.planet-cause.nl/water/welke-rol-speelt-waterstof-in-de-energie-transitie/?utm_source
- CE Delft. (2020). *Bio-Scope; Toepassingen en beschikbaarheid*. CE Delft.
- Detz, R., Hers, S., Schipper, C., & Westerga, R. (2021). *Ruimtelijke effecten van de energietransitie: casus Haven Rotterdam*. TNO.
- EC. (2023). *Communication from the commission to the European Parliament, the European Council, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: A Green Deal industrial plan for the net-zero age*.
- EC. (2023). *Regulation of the european parliament and of the council on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology products manufacturing ecosystem (Net Zero Industry Act)*.
- Grimbergen, R. (2022). *The industrial transformation - Navigating the bermuda triangle*.
- International Energy Agency. (2023). *Energy Technology Perspectives*.
- Nationaal Waterstof Programma. (2022). *Routekaart Waterstof*.
- Osman, A., Mehta, N., Elgarahy, A., Al-Muhtaseb, A., & Rooney, D. (2021). Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters*.
- PlasticsEurope. (2021). *Introductie van chemische recycling: Plastic afval wordt een waardevolle hulpbron*.
- RoadToBio. (2018). *Case studies on potentially attractive opportunities for bio-based chemicals in Europe*.
- RVO. (2023). *Inflation Reduction Act*.
- speijer, & karin. (sd).
- Suurs, Antoni, Rontzsch, Smolinka, Carmo, Shviro, . . . van der Burg. (2020). *HySpeedInnovation: A joint action plan for innovation and upscaling in the field of water electrolysis technology*.
- Suurs, Dowling, Diaz Morales, Manrique Ambriz, van der Burg, van Schooneveld, . . . de Groot. (2023). *Electrolysers: opportunities for the high-tech manufacturing industry*.
- TNO; FME. (2020). *Elektrolysers: Kansen voor de Nederlandse Maakindustrie*.
- van Kranenburg, K. (2020). *E-fuels: towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation*. TNO.
- van Kranenburg, K., Bree, T., Gavrilova, A., Harmsen, J., Schipper, C., Verbeek, R., . . . Wubbolts, F. (2021). *Transition to e-fuels: a strategy for the Harbour Industrial Cluster Rotterdam*. TNO.
- Vergunningaanvraag CCU project (CO2 afvang en hergebruik) ingediend*. (2019). Opgehaald van Twence: <https://www.twence.nl/nieuws/vergunningaanvraag-ccu-project-co2-afvang-en-hergebruik-ingediend>
- Wieclawska, & Gavrilova. (2021). *Op weg naar een groene toekomst. Deel 1: Hoe grondstoffen schaarste onze ambities voor groene waterstof en de energietransitie als geheel kan belemmeren*.