

# **Groene keuzes voor de Nederlandse basisindustrie**

**Klimaatneutrale productie in een circulaire economie**

Dit rapport schetst hoe de Nederlandse basisindustrie in 2050 klimaatneutraal en circulair kan produceren. Het is gebaseerd op discussies binnen het Sustainable Industry Lab vanaf medio 2021. De transitie van de basisindustrie is uitdagend, maar de ligging aan de Noordzee en het netwerk van industriële bedrijven, toeleveranciers en kennisinstellingen, maken het plausibel en wenselijk dat Nederland een flinke basisindustrie behoudt. Dat vraagt echter om keuzes, waarover de meningen uiteen lopen. We schetsen daarom ook hoe verschillende sociaal-maatschappelijke toekomstbeelden deze keuzes beïnvloeden.

De journalist A.J. Jacobs vertelde onlangs in *The New York Times* hoe hij 24 uur zonder plastic probeerde te leven, zelfs zonder plastic aan te raken. Hij poetste zijn tanden met een bamboe tandenborstel met everzwijnenhaar en betaalde met munten uit een katoenen zak. Ondanks een gedegen voorbereiding en voortdurende oplettendheid betrapte hij zichzelf op 164 overtredingen: van zijn eerste stap uit bed op het nylontapijt, het beroeren van het liftknopje bij het verlaten van zijn appartement, tot het plastic stickertje op de biologische appel.

Even lastig zou een dag zonder staal zijn, of een dag zonder cement. Chemische producten zoals plastic, maar ook staal, andere metalen en cement zijn de basismaterialen die ons moderne leven letterlijk vorm geven. Wereldwijd gaat een kwart van alle energie naar het produceren ervan. In Nederland is dit zelfs bijna veertig procent, meer dan alle huishoudens bij elkaar verbruiken.

Nederland zou de klimaatdoelen van het Akkoord van Parijs makkelijker kunnen halen als de basisindustrie zou sluiten, maar de productie verschuift dan naar elders. Net als de Amerikaanse journalist kunnen we geen dag zonder basismaterialen. Ook voor de energietransitie zijn veel materialen nodig. Zo is de pyloon van een windturbine van staal en de turbinebladen danken hun lage gewicht aan kunsthars.

Sommigen denken dat consuminderen of het gebruik van andere materialen zoals hout de vraag naar basismaterialen drastisch zal verminderen. Volgens anderen zullen kunstmatige intelligentie en biotechnologie het materiaalgebruik ingrijpend veranderen. Die ontwikkelingen zijn er. Maar voor iedere welvarende wereldburger die consumindert, zijn er twee in de *Global South*<sup>1</sup> die toetreden tot de middenklasse en daarmee de wereldwijde vraag naar goederen aanjagen. De mondiale behoefte aan staal, cement, kunststoffen en basischemicaliën zal daarom nog lange tijd groot blijven.

De Nederlandse basisindustrie is historisch gegroeid, gestimuleerd door het Groningse gas, de ligging in de delta van Noordwest-Europa en de economische dominantie van het Westen. Hoe kan deze industrie klimaatneutraal en circulair worden? Is Nederland daarvoor een gunstige vestigingsplaats? Welk aandeel kan en moet Nederland op zich nemen in de wereldwijde productie van basismaterialen? En wil Nederland dat ook?

Het Klimaatakkoord van 2019 schildert voor de industrie in 2050 een wenkend perspectief:

*In 2050 zien wij een Nederland voor ons met een bloeiende, circulaire en mondiaal toonaangevende industrie, waar de uitstoot van broeikasgassen nagenoeg nul is. We zien een land voor ons waar vernieuwende bedrijven en initiatiefnemers graag willen produceren en innoveren. Een innovatieve maakindustrie met steeds lagere CO<sub>2</sub>-emissies draagt bij aan onze welvaart, ons welzijn en werkgelegenheid [...] Groene waterstof en circulaire economie zijn dan bij uitstek de thema's waar Nederland zich internationaal op kan onderscheiden.[1]*

---

<sup>1</sup> De Global South is een term om landen en regio's in Latijns-Amerika, Afrika, Azië en Oceanië aan te duiden en is daarom niet synoniem met het zuidelijk halfrond. Het grootste deel van de mensheid woont in de Global South.

In 2023 hebben we binnen het [Sustainable Industry Lab](#) met vertegenwoordigers uit de industrie, overheid en milieubeweging geprobeerd een beeld van een volledig klimaatneutrale en circulaire basisindustrie te schetsen. De discussies maakten duidelijk hoe lastig het is om het abstracte doel van een ‘bloeiende, circulaire en mondiaal toonaangevende industrie, waar de uitstoot van broeikasgassen nagenoeg nul is’ in te vullen.

Maar de discussies leverden wel een voorstelling van de technieken, grondstoffen en energiebronnen die nodig zijn om de Nederlandse industrie duurzaam te laten produceren. Met dat beeld kunnen we de volgende stap zetten. Past het binnen de grenzen van klimaatdoelen en circulariteitsagenda? Welke keuzes moeten gemaakt worden? En is ombouw van de industrie economisch interessant en wenselijk?

## Industrie, energie en grondstoffen

De basisindustrie is maar een deel van Nederlandse industrie. Industrie omvat alle maakactiviteiten, ook de productie van lithografische chipmachines door ASML en het assembleren van fietsen door Gazelle. De basisindustrie heeft binnen de industrie wel de grootste uitstoot van CO<sub>2</sub> en het grootste gebruik van primaire grondstoffen. Ruwe olie, aardgas en kolen zijn in de basisindustrie niet alleen brandstoffen, ze worden ook gebruikt als grondstof, bijvoorbeeld voor het maken van kunststoffen. In de basisindustrie zijn dus klimaattransitie en de overgang naar circulaire productie nauw met elkaar verweven.

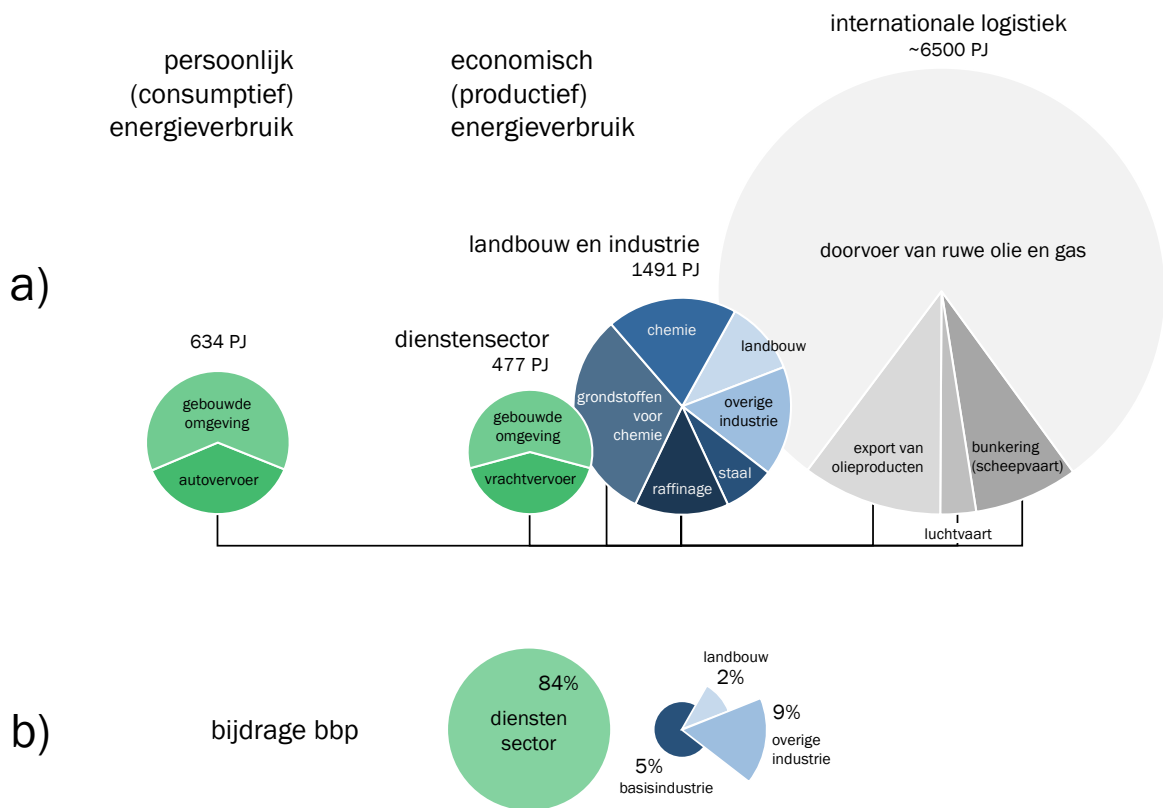
Een circulaire samenleving omvat veel meer dan hergebruik van grondstoffen. Recyclebaar ontwerpen, goede mogelijkheden tot repareren en gebruik van andere materialen helpen om kringlopen te sluiten. Maar hoe succesvol deze ontwikkelingen ook zullen zijn, er zal altijd een afvalstroom blijven. Voor de basisindustrie is de uitdaging om deze tot nieuwe producten op te werken. Voor de chemische industrie gaat het daarbij vooral om de circulariteit van koolstof.

De Nederlandse overheid identificeert vier basisindustriële sectoren die speciale aandacht verdienen: raffinage, chemie, staal en kunstmest. Wij volgen deze selectie maar beschouwen in de statistieken kunstmest als onderdeel van de chemiesector.

Figuur 1a laat zien hoe het energieverbruik in Nederland is verdeeld tussen de belangrijkste klassen van eindgebruik. De oppervlakte van de cirkels in de figuur is evenredig met de hoeveelheid verbruikte energie. De twee groene cirkels representeren het energieverbruik in de gebouwde omgeving en het vervoer. Links staat het privéverbruik van energie in huizen en personenauto's en rechts het energieverbruik in kantoren en in vrachtvervoer. De blauwe cirkel toont het energieverbruik in industrie en landbouw. Figuur 1b toont het aandeel dat de verschillende sectoren hebben in het brute binnenlands product (bbp). De figuur laat zien dat de industrie<sup>2</sup> driemaal zoveel energie verbruikt als de dienstensector, terwijl deze vijfmaal minder bijdraagt aan het bbp. Binnen de industrie is de basisindustrie de grootste verbruiker. De basisindustrie is goed voor 55 procent van

---

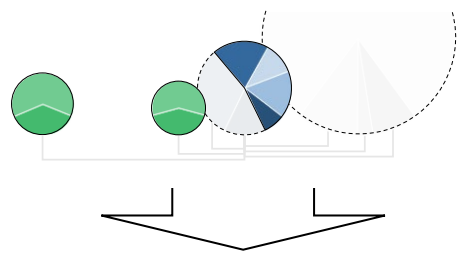
<sup>2</sup> Omwille van de volledigheid is landbouw in de energieopbouw meegenomen; vanwege ons focus op industrie zullen we landbouw verder niet bespreken.



**Figuur 1:** energie (a) en economie (b) in Nederland in 2019. Getoond is het totale eindverbruik van energie. In figuur 1a wordt onderscheid gemaakt tussen consumptief verbruik (links) en productief verbruik (rechts). Het energieverbruik in de raffinagesector (in donkerblauw) is formeel geen eindverbruik maar conversieverlies; de zwarte lijnen vandaaruit lopen naar de sectoren die volledig (of praktisch volledig in het geval van autovervoer en grondstoffen voor de chemie) van olieproducten afhankelijk zijn. Figuur 1b geeft het relatieve aandeel in het bruto binnenlands product (bbp) aan. De kleuren corresponderen met die in de energiediagrammen, waarbij de donkerblauwe schijf het aandeel is van de basisindustrie (chemie, raffinage en staal). Landbouw omvat ook visserij en bosbouw (data: CBS).

het totale economisch productieve energieverbruik en dragen gezamenlijk maar 5 procent bij aan het bbp. Dit is inclusief de fossiele brandstoffen die de basisindustrie gebruikt als grondstof voor nieuwe producten.

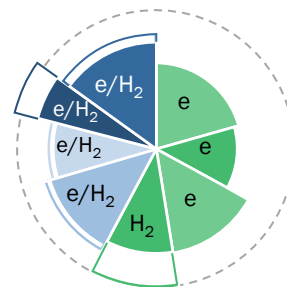
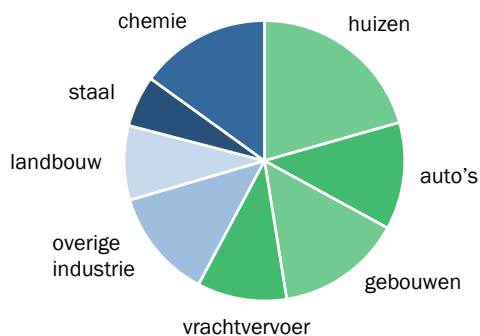
De grijze cirkel in figuur 1a is groter dan alle andere samen. Dat komt doordat Nederland een logistiek knooppunt is voor Noordwest-Europa. Er wordt veel energie (vooral olie en gas) door Nederland naar het Europese achterland vervoerd. De vijf Nederlandse raffinaderijen verwerken een flink deel van deze olie waardoor ons land een netto exporteur is van olieproducten (meest transportbrandstoffen). Ook heeft Nederland met de Rotterdamse haven en Schiphol twee mainports waardoor de bunkering van de luchtvaart en vooral de scheepvaart groot is, vergelijkbaar met een kwart van het totale binnenlands energieverbruik. In Duitsland is dat maar 5 procent. Rotterdam is – bij wijze van spreken – de grootste haven van Duitsland.



energievraag in 2019

voortgaande elektrificatie en  
overschakeling op groene  
waterstof

energievraag in 2050



**Figuur 2:** de verandering in energievraag in Nederland tussen 2019 en 2050 in de sectoren van het energiesysteem waarin elektrificatie en groene waterstof de belangrijkste bijdragen aan verduurzaming leveren. Dit leidt vaak tot energiebesparing. Het verbruik kan daarom dalen van 1920 petajoule in 2019 tot 1030 petajoule in 2050, verdeeld over elektriciteit (e) en groene waterstof (H<sub>2</sub>). Omdat bij het produceren van groene waterstof circa 30 procent van de energie verloren gaat is in totaal 1160 petajoule primaire elektriciteit nodig voor deze sectoren. Deze conversieverliezen zijn aangegeven door de witte vlakken bij de sectoren. De grijze stippellijn correspondeert met het energieverbruik in 2019.

Zo maakt Figuur 1 in een oogopslag duidelijk hoe uniek, en hoe uniek groot, de klimaat- en circulariteitsopgave van Nederland is. Maar zoals we zullen zien heeft Nederland een goede natuurlijke, geografische, economisch en sociale positie om deze uitdaging aan te gaan.

## Industrie in een klimaatneutraal en circulair Nederland

De transitie van de industrie kan alleen goed besproken worden als onderdeel van de hele samenleving. Daarom bekijken we de industrietransitie in de context van de nationale energietransitie.

Elektriciteit uit zon en wind en daarmee geproduceerde groene waterstof kunnen in de toekomst de basisindustrie van energie voorzien. Maar niet alle industrie kan volledig overgaan op elektriciteit of waterstof. De bedrijven die fossiele brandstoffen als grondstof gebruiken voor bijvoorbeeld de productie van kunststoffen, blijven afhankelijk van koolstofhoudende grondstoffen.

Figuur 2 toont het deel van het energiesysteem dat volledig over kan gaan naar elektriciteit en waterstof. Dit zijn de sectoren die nu al voornamelijk elektriciteit en aardgas verbruiken, zoals de gebouwde omgeving en een groot deel van de lichte industrie – denk aan de levensmiddelenindustrie of de fijnmetaal. Het transitiepad is hier verdergaande elektrificering en, waar dat niet mogelijk is, overschakeling van aardgas op waterstof. Dat laatste vooral voor hogetemperatuurwarmte.<sup>3</sup> Daarnaast zal ook het wegtransport, dat nu nog voor bijna 99 procent op brandstoffen draait, overgaan op elektriciteit en waterstof. Personenvervoer zal waarschijnlijk zo goed als volledig elektrificeren. Bij vrachtvervoer kunnen waterstof en elektriciteit een flink aandeel hebben. Elektrisch vervoer en verwarming met warmtepompen is efficiënter dan gebruik van fossiele brandstoffen. De transitie leidt daarom tot een belangrijke energiebesparing (zie figuur 2).

Figuur 3 is de tegenhanger van figuur 2. De figuur geeft de sectoren weer die nog vrijwel volledig afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen. Ten eerste is dit de chemie, waar olie en gas grondstof zijn voor producten. Een circulaire chemie vereist dat fossiele koolstof vervangen wordt door koolstof uit bioresiduen en afvalstromen. Daarnaast blijven scheepvaart en luchtvaart waarschijnlijk grotendeels afhankelijk van vloeibare brandstoffen. Voor de luchtvaart is er eigenlijk geen alternatief voor kerosine en daarom richt verduurzaming in die sector zich op efficiëntieverbetering en duurzame varianten van kerosine.<sup>4</sup> Voor de scheepvaart worden wel alternatieven voorgesteld, maar de meningen lopen uiteen hoe schaalbaar die zijn. Wij denken daarom dat het vervoer en transport over water en door de lucht nog voor een lange tijd koolstofgebaseerde brandstof nodig zal hebben. Zoals we eerder bespraken zal het wegvervoer grotendeels elektrificeren en overschakelen op waterstof. Daarmee vervalt ook het grootste deel van de export van olieproducten, die voornamelijk uit benzine en diesel bestaat. Figuur 3 laat zien dat al deze veranderingen leiden tot ruwweg een halvering van de vraag naar producten op basis van koolwaterstoffen.

Hier komen klimaat- en circulariteitsambities samen. Als de kringlopen gesloten worden kunnen de koolwaterstoffen niet meer uit fossiele grondstoffen worden gehaald, maar uit bijvoorbeeld bioresidu en afval. Om zowel de overblijvende brandstoffen als de chemie van circulair koolstof te voorzien is in Nederland per jaar circa 20 megaton koolstof nodig. Dit vraagt om import van bioresiduen en andere reststromen.<sup>5</sup> Voor de omzetting van deze

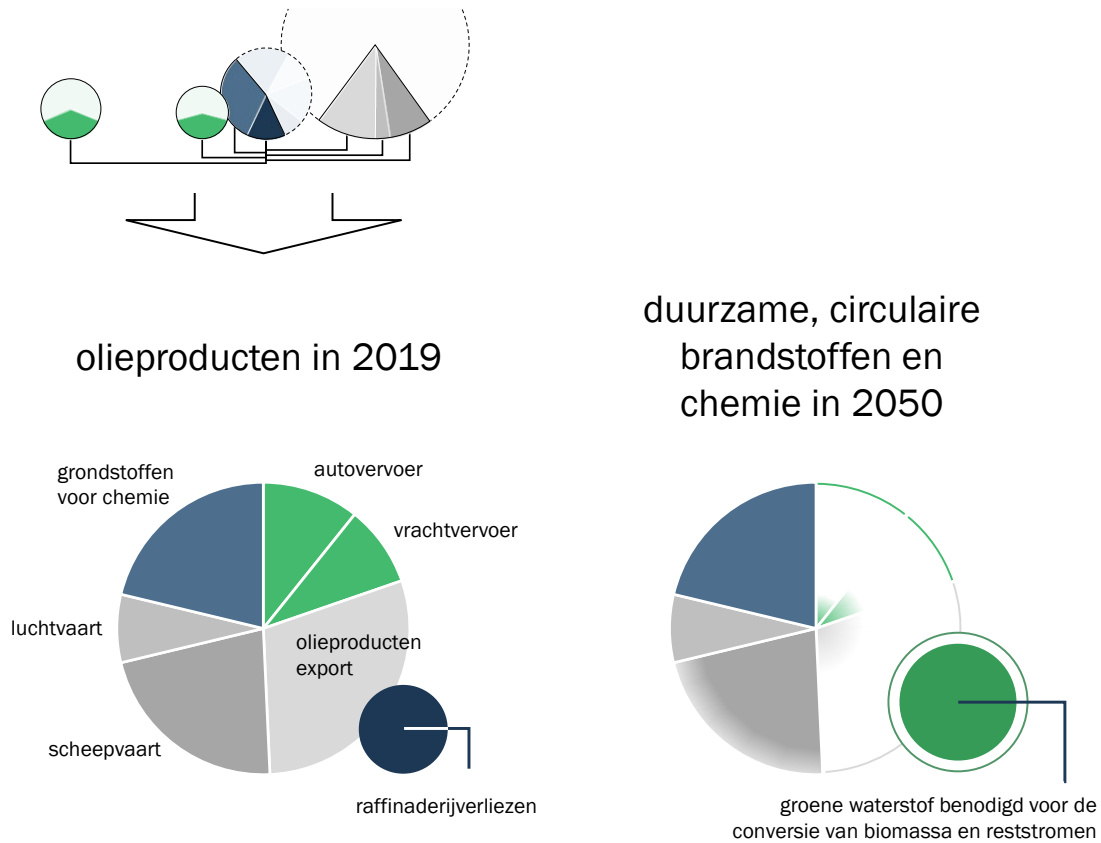
---

<sup>3</sup> Voor laagtemperatuurwarmte, zoals in de gebouwde omgeving en delen van de industrie, kan ook restwarmte worden gebruikt. Maar dat verandert weinig aan onze redenering voor de basisindustrie. We gaan daarom uit van handhaving van de status quo. Zie Figuur 4.

<sup>4</sup> SAF (*sustainable aviation fuel*), een biobrandstof, is momenteel al een alternatief met een klein aandeel in de totale vraag. Op langere termijn zijn er veel verwachtingen van synthetische kerosine, een zogeheten *e-fuel*.

<sup>5</sup> De beschikbaarheid van deze bronnen is een onderwerp dat veel debat oproept. Het lokale, Nederlandse potentieel voor biomassa en afval is wellicht niet meer dan 3 megaton koolstof per jaar. In een circulaire economie moet een land dat een netto exporteur is van (basis)chemische producten afval importeren. Dit vraagt internationale overleg. Wereldwijd is waarschijnlijk 3000 megaton koolstof (100 EJ) per jaar aan biomassa beschikbaar voor energie en als grondstof onder strenge duurzaamheidsvoorwaarden (zie bijvoorbeeld de *World Energy Outlook* van het IEA). De Nederlandse industrie verwerkt momenteel 1 miljoen vaten olie per dag, ca. 1 procent van de wereldproductie. Omdat bioresidue en afval met name olie moeten vervangen, en onder de aanname dat de globale basisindustrie verdubbelt en de Nederlandse industrie continueert op het huidige niveau, zou 0,5 procent van de wereldwijde biomassa, ca. 15 megaton koolstof,

ruwe koolstofstromen naar duurzame brandstoffen en circulaire chemische producten is daarnaast circa 500 petajoule per jaar aan groene elektriciteit nodig, vooral in de vorm van groene waterstof.<sup>6</sup>



**Figuur 3:** de verwachte verandering in energieverbruik tussen 2019 en 2050 voor Nederland in de sectoren die in 2019 vrijwel geheel van olie en olieproducten afhankelijk waren. Personenvervoer zal naar verwachting elektrificeren en het vrachtovervoer zal overschakelen op waterstof. Deze transitie zal vrijwel volledig zijn, waardoor ook de export van olieproducten (grotendeels benzine en diesel) wegvalt. De luchtvaart en grondstoffen voor chemie zullen volledig afhankelijk blijven van koolwaterstoffen, scheepvaart waarschijnlijk grotendeels. Dit leidt tot een halvering van de benodigde productie. Deze overblijvende vraag naar koolwaterstoffen kan circulair gemaakt worden met bioresidu en afval als grondstof. Maar dit vraagt 350 petajoule per jaar groene waterstof (groene cirkel) waarvoor circa 500 petajoule elektriciteit nodig is (omhullende cirkel).

in Nederland verwerkt kunnen worden. Hoewel dit geenszins recht doet aan de complexiteit van de discussie, geeft dit een eerste indicatie dat 20 megaton koolstof een plausibel startpunt is voor verdere discussie.

<sup>6</sup> Sommigen suggereren om CO<sub>2</sub> uit de lucht te halen en zo te voorzien in de vraag naar koolstof (bekend als koolstofafvang en -gebruik, CCU). Om CO<sub>2</sub> in producten om te zetten is 2500 petajoule per jaar groene stroom nodig. Zoveel energie kan Nederland onmogelijk opwekken. CCU kan daarom niet meer dan een marginale rol spelen. Wellicht zou CCU elders op de wereld een plek kunnen vinden, waar duurzame energie overvloedig en goedkoop is. In dat geval zal ook *daar* synthetische brandstof worden geproduceerd. Dit is een praktischer en efficiëntere manier van energie-import dan groene waterstof.

## Wind, waterstof en koolstof

Groene stroom is cruciaal voor de energietransitie in de basisindustrie. Wind zal in Nederland de belangrijkste bron van primaire energie worden. Nederland is gezegend met de nabijheid van de Noordzee, een ondiepe zee waar meestal een straffe wind waait. Door de ligging aan de monding van de grote rivieren van Noordwest-Europa, zal Nederland een knooppunt blijven van mondiale materiaalstromen en daarmee een logische plek zijn voor de vestiging van basisindustrie. De regering wil in 2050 in totaal 70 gigawatt aan windturbines in het Nederlandse deel van de Noordzee realiseren.[2] Dat zijn bijna vijfduizend 15 megawatt windturbines, de verwachte toekomstige standaard voor offshore wind. Samen nemen die ongeveer een vijfde in van de Nederlandse exclusieve economische zone. Hiermee kan Nederland per jaar ongeveer 1100 petajoule (300 TWh) groene energie produceren. Dat is bijna driemaal zoveel als de huidige totale elektriciteitsproductie, maar nog niet het maximum haalbare – 100 gigawatt (1600 petajoule per jaar) is ook denkbaar. Daarnaast zal wind op land en zonne-energie een flinke bijdrage leveren, zodat de totale groene elektriciteitsopwekking 1500 petajoule per jaar of meer kan zijn. Dat is voldoende om de samenleving draaiend te houden, inclusief een flinke, groene basisindustrie.

Al die turbines zijn niet nodig wanneer Nederland zich zou omvormen tot een diensteneconomie, met alleen lichte industrie (een “tweede ASML”). Het ruimtebeslag van al die windturbines is groot en concurreert met de visserij, internationale scheepvaart, zeilers en defensie.<sup>7</sup>

Dat is de paradox van de overgang naar een duurzame samenleving: het fossiele tijdperk kenmerkte zich door overvloed. Technisch was het geen probleem om de oliekraan en gaskraan steeds verder open te draaien of meer kolen op te graven. De energievoorziening nam weinig ruimte in. Die makkelijke beschikbaarheid heeft de afgelopen twee eeuwen voor een grote stijging van de productie gezorgd. Een vat olie bevat evenveel energie als een volwassene kan leveren in tien jaar. De processen in de huidige basisindustrie zijn ontworpen op basis van die overvloed aan energie. Als er tekort aan energie was, dan was de oorzaak politiek. Als het om duurzame energie gaat, wordt graag de oneindige beschikbaarheid van de zon genoemd, maar de werkelijkheid is anders. De techniek, het ruimtebeslag en de beschikbaarheid van materialen leggen grote beperkingen op. Nu al zijn de ruimtelijke inpassing en de beschikbaarheid van sommige metalen knelpunten. Duurzame energie is dus een schaars goed. De industrie moet daarom haar productieprocessen anders inrichten en rekening houden met die schaarste. Een klimaatneutrale en circulaire samenleving moet leren leven binnen grenzen. Dat vraagt om keuzes, nationaal, maar ook wereldwijd.

---

<sup>7</sup> Wellicht is het ruimtebeslag van wind en zon uiteindelijk de belangrijkste driver om kernenergie te overwegen als aanvulling in de toekomstige energievoorziening van Nederland. Hierbij is het goed om te weten dat een grote kerncentrale van 1 gigawatt per jaar ongeveer 30 petajoule levert. Er zijn dus veel centrales nodig om de druk op de Noordzee significant te verminderen.



## De transitie per sector

Klimaatneutrale en circulaire productie vereist nieuwe industriële processen, zelfs als de producten hetzelfde blijven. Daarmee is de bestaande industriële infrastructuur niet waardeloos. De transitie is een proces van afbouw, ombouw en nieuwbouw. Welke activiteiten passen in de toekomst in Nederland? Hieronder volgt een eerste verkenning van de mogelijkheden per sector.

**Brandstoffen en chemie.** De benaming ‘raffinage en petrochemie’ raakt gedateerd door de overschakeling van aardolie op andere grondstoffen zoals bioresidu en afval. We spreken daarom over ‘brandstoffen en chemie’. Net als aardolie zijn de circulaire grondstoffen complexe mengsels, die in verschillende stappen worden bewerkt om er bijvoorbeeld brandstoffen of kunststoffen van te maken. De destillatietorens en krakers van de huidige raffinaderijen zullen geleidelijk plaats maken voor pyrolyse- en vergassingsinstallaties, die halffabricaten leveren voor verdere verwerking.

De raffinage en petrochemie in Nederland zijn nauw verweven met de industrie in Vlaanderen en het Ruhrgebied. Bij elkaar heten deze het ARRRA-cluster (Antwerp-Rotterdam-Rhine-Ruhr-area). Het is een van de drie grootste industrieclusters ter wereld en is goed voor veertig procent van de petrochemische productie in de Europese Unie.

Schaalgrootte is belangrijk in dit cluster. Die maakt dat er efficiënt geproduceerd kan worden. Dit geldt ook in een duurzame toekomst. Meer nog dan nu zal het nodig zijn om alle koolstofstromen nuttig te gebruiken en zo min mogelijk koolstof als restgas te verbranden, waarbij CO<sub>2</sub> ontstaat. Alleen als de installaties groot genoeg zijn, is het mogelijk om ook kleinere reststromen nuttig te gebruiken. Schaal en integratie blijven dus belangrijk. Het ARRRA-cluster is daarom een waardevolle erfenis uit het fossiele verleden. Het kan zich geleidelijk omvormen tot een geïntegreerd duurzaam industrieel cluster. Voor deze transformatie is de nabijheid van de Noordzee, met een fantastisch potentieel voor windenergie, bijzonder gunstig.

Dat is een aanlokkelijk perspectief, maar is het voldoende? Er zijn grote investeringen nodig om deze sector helemaal om te bouwen. Is het gunstiger om elders iets nieuws te beginnen, op plekken die onbebouwd zijn en waar hernieuwbare energie écht goedkoop is? Het antwoord hierop is niet eenduidig. Zo zal er ongetwijfeld nieuwe groene industrie gebouwd worden in bijvoorbeeld het Midden-Oosten vanwege de beschikbare zonne-energie, zeker op plekken die gunstig liggen voor vervoer naar nieuwe markten.

Maar ook het ombouwen van de bestaande locaties in Nederland is aantrekkelijk. Hier zijn experts, specialistische bedrijven en onderzoeksinstituten aanwezig. De kennis en kunde uit het fossiele tijdperk is toepasbaar binnen de groene industrie en is een gunstige factor in de kostenvergelijking van verschillende locaties. De investeringen voor ombouw hoeven niet in een keer gedaan te worden. De transitie is een serie van tientallen projecten, die de sector geleidelijk duurzaam maken. Het gaat om honderden miljoenen euro's per project, maar de industrie hoeft zich niet in één keer te committeren aan miljarden.

**Staal.** Sinds de industriële revolutie zijn staal en kolen een twee-eenheid. Cokes uit steenkool is niet alleen een brandstof, het is ook de reductor waarmee ijzererts (ijzeroxide) tot ijzer wordt. Ijzererts kan ook gereduceerd worden met waterstof, maar dat is een ingrijpende procesverandering, die op dit moment niet volledig uitontwikkeld is. De vervanging van een hoogoven door een waterstofgebaseerd proces is een miljardeninvestering. Dat is anders dan in de sector voor brandstoffen en chemie, die geleidelijker kan worden omgebouwd.

Een verschil is ook dat staal in Nederland wordt gemaakt door maar één bedrijf, Tata Steel, de grootste CO<sub>2</sub>-uitstoter van het land. Uitspraken over de toekomst van de staalsector in Nederland zijn dus onlosmakelijk verbonden met de toekomst van dat bedrijf. Tata Steel staat onder druk om snel een beslissing te nemen over de toekomst van ijzerproductie door milieuproblemen met de huidige fabriek. Dit wringt met de tijdlijn voor keuzes voor een integraal industriebeleid, die – zoals we hieronder zullen beargumenteren – beter rond het eind van dit decennium genomen kunnen worden, omdat de technische onzekerheden dan aanzienlijk kleiner zullen zijn dan nu.

Nederland is wellicht niet de beste plek om met groene waterstof ijzererts om te zetten in ruw ijzer en daarmee op de wereldmarkt te concurreren. Daarvoor zijn de kosten in Nederland te hoog. Maar staalproductie is verweven met andere industrieën, net als de sector voor brandstoffen en chemie. Dit geldt in Europees perspectief vooral voor hoogwaardig staal voor de auto-industrie en de verpakkingindustrie (voor constructiestaal geldt het minder). Van de productie van Tata Steel gaat bijna een derde naar de auto-industrie en 12 procent naar verpakkingen.

De Duitse auto-industrie is bepalend voor de hele Duitse industrie. Zij biedt werkgelegenheid aan bijna een miljoen mensen. Ook Frankrijk is een grote speler. Zonder duurzaam staal geen duurzame automobilititeit. Vergroening van de staalsector werkt daarom door in de hele auto-industrie.

Groen autostaal is dus een innovatief en onderscheidend halffabricaat in de keten van ijzer tot auto. Ook het just in time management van de auto-industrie is een reden om staal te maken in de nabijheid van autofabrieken. De omschakeling naar groen staal zal in Europa voor verschillende staalfabrieken anders uitwerken. Zo maakt Voestalpine in het Oostenrijkse Linz de meeste winst op geavanceerd autostaal, maar de ligging van de fabrieken is ongunstig voor een omschakeling naar hernieuwbare energie. Het bedrijf overweegt om in de toekomst alleen de eindbewerkingen van ijzer uit te voeren en de energie-intensieve reductie van ijzererts elders te laten gebeuren. Dat is anders voor Tata Steel. De kracht van dat bedrijf is de integratie tussen de reductie van ijzererts en de verdere bewerkingen. Door de ligging aan de Noordzee kan daarvoor ook in de toekomst voldoende hernieuwbare energie beschikbaar zijn. In de energieanalyse (figuur 2), die uitgaat van behoud van de huidige productie, is aangenomen dat Tata Steel omschakelt naar waterstof.

Dit voorbeeld illustreert het strategische belang van de staalindustrie voor Europa. Het maakt ook duidelijk dat keuzes op het niveau van de Europese Unie moeten worden gecoördineerd.

**Kunstmest.** De belangrijkste grondstof voor kunstmest is ammoniak. Het kost veel energie om ammoniak te produceren. De kunstmestsector is in Nederland goed voor een CO<sub>2</sub>-uitstoot van circa 5 megaton per jaar.

Ammoniak wordt gemaakt door waterstof te laten reageren met stikstof uit de lucht. Maar in tegenstelling tot waterstof kan ammoniak goed over grote afstanden vervoerd worden. Ammoniak kan daarom het best gemaakt worden waar duurzame energie het goedkoopst is. Dat is niet in Nederland. Nederland kan dus beter ammoniak dan waterstof inkopen uit andere continenten. In plaats van energiedragers worden dan dus grondstoffen vervoerd.

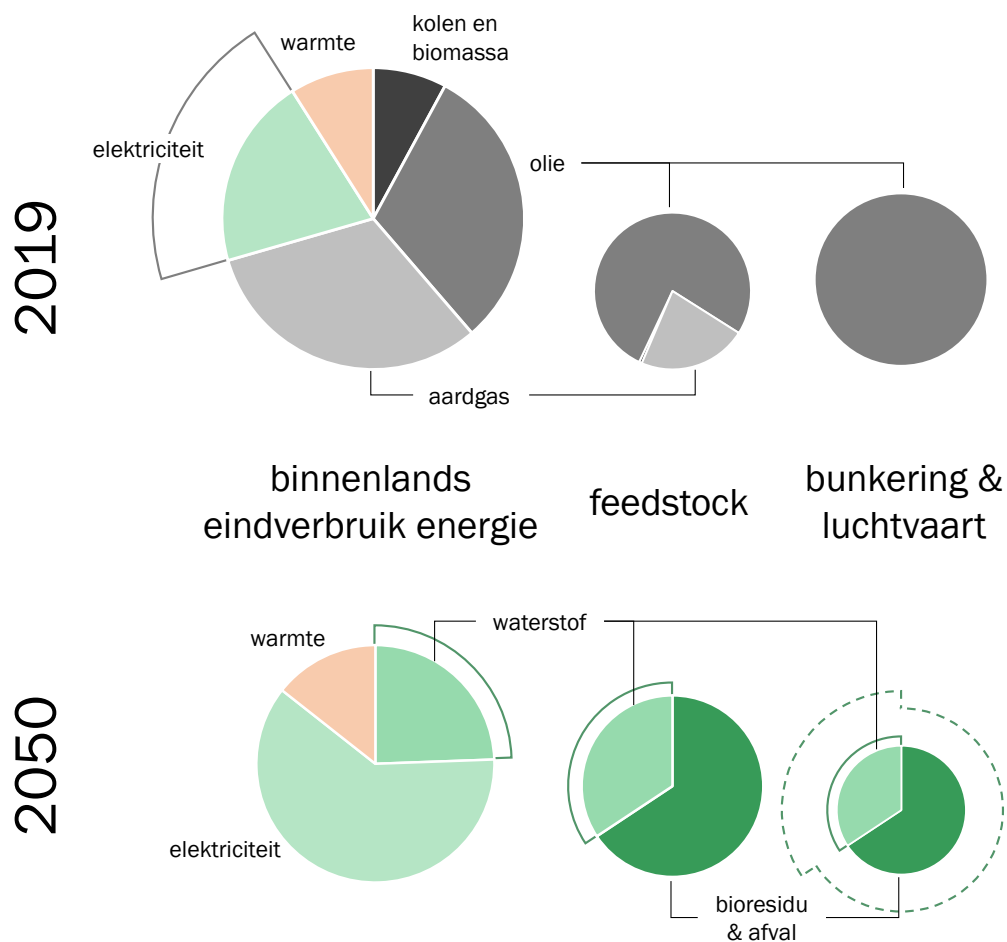
Net als bij ruw staal is de productie van ammoniak in Nederland nauw verbonden met de producten die ervan worden gemaakt. Dat is niet alleen kunstmest, maar ook chemische producten zoals nylon en melamine (een grondstof voor kunststoffen).

## **Keuzes maken: timing, efficiëntie en wereldbeelden**

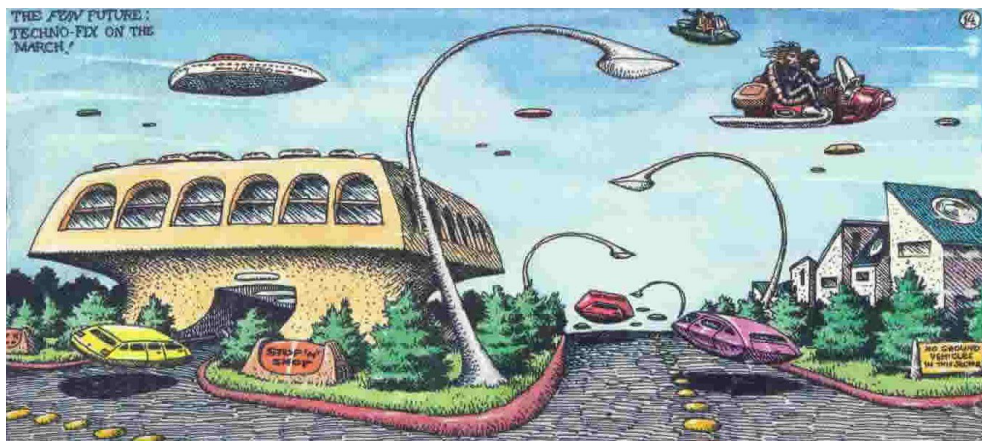
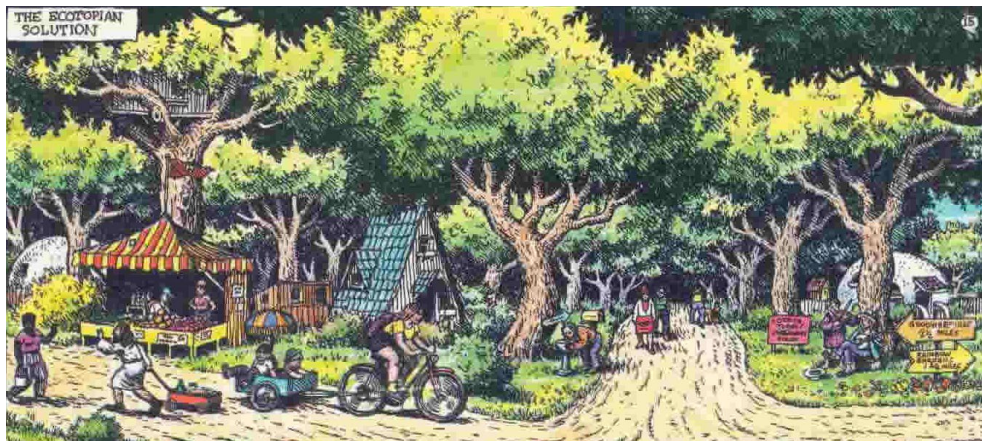
Het geschetste beeld van een toekomstige duurzame industrie roept de vraag op: welke weg leidt daarheen en welke keuzes zijn daarvoor nodig? De maatschappij zal die keuzes geleidelijk maken en steeds verder preciseren. De technologie geeft een richtsnoer bij de timing en de rol van efficiëntie bij die keuzes.

**Timing.** Er zijn belangrijke technische en economische onzekerheden rond een aantal cruciale technologieën, zoals de productie van groene waterstof, het gebruik van waterstof in de staalindustrie, en conversieprocessen om de koolstof uit bioresidu en afval maximaal te benutten. Oplossingen bestaan, maar de uiteindelijke kosten en de praktisch haalbare efficiëntie en robuustheid zijn nog onbekend. Ook is technologie niet van het ene op het andere jaar op grote schaal beschikbaar. Zo is het nog onduidelijk hoe Europa in 2030 de beoogde 20 megaton groene waterstof per jaar kan produceren.[3] Dit vraagt om *electrolysers* die bij elkaar 200 gigawatt moeten gaan leveren. In 2021 werd in Europa ongeveer 100 megawatt aan nieuwe electrolysers geïnstalleerd. Een duizendvoudige opschaling van het aanbod aan electrolysers is dus nodig. Behalve electrolysers zullen ook andere technologieën, zoals bijvoorbeeld pyrolyse, zich op grotere schaal of onder andere condities moeten bewijzen. Deze fase is cruciaal om de technische onzekerheden weg te nemen en de resultaten zullen pas rond 2030 bekend zijn. Dan zal duidelijk worden welke technieken opgeschaald kunnen worden om de doelen voor 2050 te halen. Ook zal dan pas echt duidelijk kunnen worden welke basisindustrie Nederland kan en wil hebben.

**Efficiëntie als leidraad.** Het is ambitieus om in het jaar 2050 geheel klimaatneutraal en circulair te zijn, zoals Nederland en de EU hebben vastgelegd. Om emissies zoveel mogelijk te reduceren in de periode tot 2050 moeten het eerst technieken worden ingezet die het meeste efficiënt zijn en daardoor het meeste effect hebben (zie figuur 4). Het meest efficiënt zijn technieken waarbij weinig omzettingen nodig zijn en waarbij weinig verloren gaat in zo'n omzetting. Met dit criterium is energiebesparing de meest aantrekkelijke maatregel. Direct daarop volgt elektrificatie. Daar zijn weinig omzettingen voor nodig en een elektromotor verbruikt minder energie dan een brandstofmotor. Pas daarna volgt het gebruik van waterstof. Bij de productie daarvan gaat dertig tot veertig procent van de



**Figuur 4:** Het Nederlandse energieverbruik in 2019 en 2050, uitgesplitst naar energiedrager. De sectoren in de linker schijven (binnenlands eindverbruik energie) kunnen overschakelen op elektriciteit en groene waterstof (ze corresponderen met de sectoren uit figuur 1). Ook de warmtevraag (meest restwarmte) is hier ingetekend. Aangenomen is dat het gebruik daarvan niet verandert. In 2019 ging elektriciteitsopwekking uit gas, kolen en kernenergie met aanzienlijke conversieverliezen gepaard. Deze zijn weergegeven door het buitenste, witte gedeelte van het segment. In 2050 wordt elektriciteit opgewekt uit zon en wind die met nauwelijks verlies elektriciteit produceren. De verliezen bij de productie van groene waterstof zijn veel groter, weergegeven op dezelfde manier als de verliezen in 2019. De overblijvende koolwaterstoffen (figuur 3) zijn grondstof voor de chemie (middelste cirkels) en brandstof voor scheepvaart en luchtvaart. In een circulaire economie worden olie en gas hier volledig vervangen door bioresidu en afval. Voor deze conversie is groene waterstof nodig. De energie-inhoud van beide bronnen is weergegeven in de figuur. Hierbij is uitgegaan van conversie van 20 megaton koolstof, waarvan 15 megaton in producten eindigt. Hier is aangenomen dat de chemie op het huidige niveau blijft en volledig bediend wordt. We zien dat voor de volledige vervanging van bunker- en luchtvaartbrandstof meer energie nodig zou zijn, aangegeven door de gestippelde cirkel.



Ecotopia en Technotopia. Cartoons van Robert Crumb,  
*A Short History of America – Epilogue* (1988)

energie verloren. Nog minder efficiënt zijn het maken van brandstoffen en producten uit koolstof. Energie kan ook verloren gaan bij transport. Zo is het efficiënter om koolstofgrondstoffen over een lange afstand te importeren dan waterstof of elektriciteit.

**Wereldbeelden.** Welke technieken moet Nederland helpen ontwikkelen en welke sectoren kunnen een plaats krijgen in een duurzame toekomst? Uiteindelijk gaat het hier om de vraag: Welke industrieën, welke producten en hoeveel? Technische argumenten zijn belangrijk bij de keuzes die gemaakt moeten worden. Zulke keuzes worden niet alleen gemaakt op grond van efficiëntie en beschikbaarheid van technologieën. De keuzes worden ook bepaald door het wereldbeeld of de verschillende wereldbeelden die achter de abstracte notie van een duurzame samenleving schuil gaan. De keuzes zijn daarmee politiek en maatschappelijk. Het is daarbij behulpzaam om drie polariteiten in het denken te benoemen.

**Ecotopia versus Technotopia.** Deze twee cartoons van Robert Crumb illustreren de ideeënstrijd tussen mensen die geloven dat gedragsverandering de sleutel is tot een duurzame toekomst, en zij die geloven dat technische innovatie milieuproblemen en 'grenzen aan de groei' kan overwinnen. Deze ideeënstrijd is de eerste van drie door ons onderscheiden polariteiten.

Ecotopisten wijzen erop dat minder en anders consumeren cruciaal is voor de oplossing van het klimaatprobleem. Consumptiegoederen moeten ontworpen worden voor een lange levensduur, producenten moeten een reparatieplicht krijgen en aan het eind van het gebruik zorg dragen voor volledige recycling. Ecotopisten willen, of *eisen* daarom dat de vraag naar basismaterialen zoals staal en plastic zal afnemen.

Technotopisten zien voorlopig geen afname van de vraag, al was het maar door de economische ontwikkeling van de Global South. Ook constateren zij dat in het verleden milieuproblemen vaak met technische innovaties werden opgelost, niet met gedragsverandering. Dit wereldbeeld heet ook wel ecomodernisme.

Het gaat hier niet om wie gelijk heeft. Beide dragen een deel van de oplossing aan. Een oplossing zal uiteindelijk moeten komen uit een synthese van beide wereldbeelden. Niettegenstaande het feit dat beide partners moeten zijn die *samen* een systeemtransitie bewerkstelligen, zal gedragsverandering vooral van consumenten moeten komen, en technische innovatie van producenten. Duurzame productie van basismaterialen is een grote, wereldwijde uitdaging en staat nog in de kinderschoenen. Dat doel komt dichterbij als gedragsverandering de consumptiedruk vermindert. Nederland heeft ecotopisten én technotopisten nodig.

**Globaal versus lokaal.** Niet alle grondstoffen van de Nederlandse basisindustrie hoeven uit eigen land te komen. Nu importeren we olie, in de toekomst bioresidu en afval. Maar hoeveel kunnen we importeren en hoeveel moeten we uit eigen land halen? Dat is de tweede polariteit: die van wereldwijde efficiëntie versus lokaal commitment.

Wereldwijde efficiëntie vereist dat de productie zoveel mogelijk plaatsvindt in de nabijheid van natuurlijke hulpbronnen. De zon heeft in een brede gordel rond de evenaar het grootste potentieel en produceert daar de goedkoopste energie. Maar het is te simpel om te denken dat deze regio's de bron van toekomstige energie worden en daarmee een aantrekkelijke vestigingsplaats voor groene industrie.

Lokaal commitment betekent dat productie lokaal blijft, ook al moeten hulpbronnen geïmporteerd worden. Dat is de gedachte uit de plannen om grote hoeveelheden waterstof te importeren. Nederland heeft daarvoor inmiddels intentieverklaringen getekend met zes landen en voert besprekingen met nog vijf landen, voor een belangrijk deel in de Global South. De EU wil vanaf 2030 in totaal 10 megaton waterstof per jaar importeren.[3]

Op wereldschaal is dat niet efficiënt.<sup>8</sup> Intercontinentaal transport van waterstof is duur. Productie van waterstof in Nederland met windenergie van de Noordzee vermijdt deze transportkosten en is daarom voor *Nederland* de goedkoopste bron van groene waterstof. Voor de import van koolstof ligt dit genuanceerder. Om de basisindustrie circulair te maken, moet afval en bioresidu grotendeels worden geïmporteerd, maar een belangrijk

---

<sup>8</sup> De import van groene waterstof uit regio's in de Global South die zelf nog een energiesysteem aan het opbouwen zijn en in hoge mate van fossiele brandstoffen afhankelijk zijn, roept ook ethische vragen op. Over dit onderwerp, dat wel *green extractivism* wordt genoemd, bereidt het European Environmental Bureau publicaties voor.

deel kan van het Europese continent komen. Koolstof is ook makkelijker te transporteren dan waterstof.

Industriële activiteit op basis van lokaal opgewekte duurzame energie toont een commitment aan duurzame productie. Wind op de Noordzee is een duurzame energiebron van wereldklasse. De grootste bron van duurzame energie in Europa ligt hier naast het grootste Europese haven-industriële complex van Europa.

Het energiepotentieel van de Noordzee is niet alleen voor Nederland belangrijk. Omliggende landen kunnen minder makkelijk duurzame energie opwekken. De Duitse industrie zal meer dan de Nederlandse afhankelijk zijn van energie-import. Omgekeerd zijn de kansen voor de industrie beter, naarmate ze dichterbij de Noordzee is gevestigd.

**Idealisme versus pragmatisme.** De energietransitie van de basisindustrie wordt aanzienlijk moeilijker als de industrie ook circulair moet worden. Figuur 4 laat zien hoe groot de circulariteitsopgave voor de chemische industrie is in vergelijking met de energietransitie. Uiteindelijk moeten beide gerealiseerd worden, maar moet het tegelijk? En hoewel het duidelijk is dat Nederland en de Europese Unie voorop willen lopen in de energietransitie, zijn idealisten en pragmatisten het niet met elkaar eens over hoe ver een land of een continent voor de rest van de wereld uit kan lopen, zonder zijn concurrentiepositie te ondergraven.

We denken dat het tegengaan van klimaatverandering dwingender is dan het bevorderen van circulariteit. Als de energietransitie te traag verloopt en fossiele bronnen in gebruik blijven, kunnen de klimaatdoelen toch bereikt worden met koolstofafvang en -opslag (CCS). CO<sub>2</sub> kan worden afgevangen bij schoorstenen waar fossiele brandstoffen of bioresiduen worden verbrand. De afvang en opslag van CO<sub>2</sub> uit bioresidu resulteert in negatieve emissie, die emissie elders kan compenseren. De processen zijn dan niet circulair, op sommige plekken blijven fossiele bronnen in gebruik totdat de benodigde circulaire technieken beschikbaar zijn. Circulariteit wordt dan pas na klimaatneutraliteit bereikt. Pragmatisten en idealisten hebben verschillende opvattingen over welk tempo van transitie haalbaar is. Dat betekent dat de omvang en duur van CCS een maatschappelijke keuze is.

Het bovenstaande mag abstract lijken, maar de keuze heeft concreet invloed op de discussie over de toekomst van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's). In een circulaire industrie is afval een grondstof en moeten AVI's hun afval vergassen of pyrolyseren om zo de chemische industrie met koolstofverbindingen te voeden. In het pragmatische beeld is CCS van rookgassen de wenselijke weg, omdat de gezamenlijke opgave van klimaat én circulariteit niet zou lukken binnen de tijdlijn van de klimaatopgave.

Idealisme en pragmatisme spelen ook bij de vraag welke industrie in Nederland past. Idealisten zullen kijken of industrie past in een volledig duurzaam en circulair eindbeeld. Pragmatisten zullen kijken of handhaven van een industrie met CCS mogelijk is zonder klimaatdoelen in gevaar te brengen.



## Moet wat kan?

Het Akkoord van Parijs vraagt alle landen om zich vrijwillig te binden aan maatregelen om emissies terug te dringen, de *nationally determined contribution* (NDC). De EU en lidstaten hebben een gezamenlijk doel ingediend. Zij willen tot 2030 in totaal 55 procent emissies reduceren en uiterlijk in 2050 tot nul terugbrengen. Maar over de toekomst van de basisindustrie is het beleid minder duidelijk.

De nationally determined contribution is de negatieve belofte om *niet* te vervuilen. Het mist een positieve belofte om als land bij te dragen aan de materiële behoeften van huidige en toekomstige generaties – een centrale pijler in de Brundtland-definitie van duurzame ontwikkeling. Het IPCC kan op grond van wetenschappelijk onderzoek schatten wat het emissieplafond is. Maar er is weinig houvast om vast te stellen wat de behoeftes zijn. Daarbij komen morele vragen naar voren, die nog nauwelijks gesteld zijn, niet in Nederland maar ook niet op Europees niveau.

Een eerlijke energietransitie eist dat Nederland naast een belofte voor terugdringen van de emissies ook een productiebeploofte doet. De analyse in dit rapport heeft laten zien dat de wens voor een klimaatneutrale en circulaire wereld een beroep op Nederland inhoudt om een stevig aandeel te nemen in klimaatneutrale productie in een circulaire economie.

## Referenties

- [1] [Klimaatakkoord](#), Den Haag, 28 juni 2019.
- [2] Rijksoverheid, [Nederland maakt ambitie wind op zee bekend: 70 gigawatt in 2050](#), nieuwsbericht, 16 september 2022.
- [3] [Hydrogen \(europa.eu\)](#): “The ambition is to produce 10 million tonnes and import 10 million tonnes of renewable hydrogen in the EU by 2030.”

Publicatiedatum, 11 juli 2023



## Over dit rapport en het Sustainable Industry Lab

Het [Sustainable Industry Lab](#) (SIL) heeft als doel om keuzes en consequenties in kaart te brengen die samenhangen met de industrietransitie tussen 2020 en 2050. Door de synthese van wetenschappelijke kennis en maatschappelijke expertise wil SIL bijdragen aan het maatschappelijke en politieke debat over dit onderwerp.

SIL werkt aan een technisch achtergronddocument bij dit rapport, waarin de keuzes en statistische gegevens gedetailleerder worden gepresenteerd.

Dit rapport is tot stand gekomen door bijdrages van:

**Sanne Akerboom**, universitair docent law and governance of the energy transition aan de Universiteit Utrecht en directeur van het Sustainable Industry Lab.

**Bert Bosman**, senior specialist climate & energy bij SABIC.

**Martijn Broekhof**, hoofd Klimaat, Energie, Innovatie en Duurzaamheid bij de Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI).

**Wouter Jongepier**, general manager bij Westlake Epoxy.

**Sascha Kersten**, hoogleraar sustainable process technology aan de Universiteit Twente.

**Sikke Klein**, technology manager energy bij Nobian en hoogleraar gasturbines aan de Technische Universiteit Delft.

**Gert Jan Kramer**, hoogleraar duurzame energievoorziening aan de Universiteit Utrecht en voorzitter van het Sustainable Industry Lab. Hij leidde dit project en schreef de tekst.

**Coby van der Linde**, directeur van het Clingendael International Energy Programme (CIEP).

**Marc Londo**, inhoudelijk directeur van de Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE).

**Anouk van Loon**, transition officer decarbonisation bij Tata Steel.

**Wouter Meiring**, innovation manager en academic liaison bij Shell Nederland.

**Michèle Prins**, programmaleider duurzame industrie bij Natuur & Milieu.

**Paco Rutten**, program officer bij het Institute for Sustainable Process Technology (ISPT)

**Geoffrey Schouten**, program manager bij het Institute for Sustainable Process Technology (ISPT).

**Diana Visser**, vice president of sustainability bij Corbion.

**Ester van der Voet**, emeritus hoogleraar duurzaam grondstofgebruik aan de Universiteit Leiden.

**Kira West**, research scientist energietransitiestudies bij TNO en PhD-kandidaat aan de Universiteit Utrecht.

**Ernst Worrell**, hoogleraar energy, resources and technological change aan de Universiteit Utrecht.

**Bram Vermeer** heeft de eindredactie van de tekst verzorgd.

### The Sustainable Industry Lab

Princetonlaan 8a, 3584 CB Utrecht, The Netherlands  
P.O. Box 80.115, 3508 TC Utrecht, The Netherlands

Website: [www.sustainableindustrylab.nl](http://www.sustainableindustrylab.nl)  
E-mail: [info@sustainableindustrylab.nl](mailto:info@sustainableindustrylab.nl)