



# Een klimaatneutrale Nederlandse industrie in 2050

Een verkenning via het begrip Strategische Binaire Onzekerheid  
t.b.v. het Expert Team Energiesysteem Outlook 2050.



Institute for  
Sustainable  
Process Technology



## Door de Tekenkamer van de Industrie

Een samenwerkingsverband van o.a. ISPT, Kalavasta en Quo Mare

**Auteurs:** John Kerkhoven, Jan van Schijndel, Rob Terwel, Bart Visser,  
Nort Thijssen en Rutger de Mare

3-mrt-2023



## Inhoudsopgave

<b><u>Een klimaatneutrale Nederlandse industrie in 2050</u></b>	<b>1</b>
1. Inleiding	3
Leeswijzer	4
Disclaimer	4
2. Het Verhaal	5
2.1 Uitgangspunten	5
2.2 Staalsector	7
2.3 Raffinaderijen	8
2.4 Stoomkrakers	8
2.5 Overige Basis Chemie	9
2.6 Kunstmestfabrieken	9
2.7 Rest Anorganische chemie	9
2.8 Afvalverwerkende industrie	10
2.9 Nieuwe basisindustrie	10
2.10 Papier en kartonindustrie	10
2.11 Voedingsindustrie	11
2.12 Datacenters	11
2.13 Overige industrie	11
3. Methode	11
4. Resultaten	12
5. Maatschappelijke discussie	13
6. Tot slot	14



## 1. Inleiding

Het Expert Team Energiesysteem 2050 heeft aan de Tekenkamer van de Industrie gevraagd te helpen bij het verkennen van de uithoeken van toekomstige industriële ontwikkeling in Nederland. Welke rol heeft de industrie in een klimaatneutraal Nederland? Welke sectoren blijven bestaan, welke verdwijnen wellicht en zullen nieuwe soorten industrie verschijnen? Wat is de invloed van deze veranderingen op het energiegebruik en de infrastructuur? We trachten aan de hand van een logische redenering de opties weer te geven die de huidige industrie heeft en welke energie- en grondstoffen-intensieve industrie er in Nederland nieuw zou kunnen ontstaan. Het aantal opties dat de industrie heeft is beperkt omdat sommige opties elkaar geheel uitsluiten. We noemen dit verschijnsel strategische binaire onzekerheid en zullen dit bij "Uitgangspunten" hierna toelichten. Dit type onzekerheid binnen de industrie zorgt ook voor grote onzekerheid bij de Netbeheerders en de Rijksoverheid. De hieronder beschreven analyses helpen de samenhang in het systeem te doorgronden waardoor beter zicht ontstaat op specifieke aandachtsgebieden die vragen om keuzes, beleid en sturing.

De analyses worden gedaan vanuit twee perspectieven:

1. Het Expert team heeft ons gevraagd om een Min en Max scenario te verkennen. Min definiëren we hierbij als het scenario waar de minste noodzaak is om in Nederland emissieloze productiecapaciteit voor elektriciteit op te stellen alsmede productiecapaciteit om groene moleculen te maken zoals waterstof, ammoniak en methanol. Het Max scenario daarentegen is het scenario met de meeste noodzaak om in Nederland deze productiecapaciteit op te stellen.  
In het eerste perspectief geven we een schatting van de maximale en minimale impact die de opties in 2050 kunnen hebben op verschillende energiedragers en grondstoffen. Maar ook tot welke scope 1, 2 en 3 broeikasgasemissies de beide scenario's optellen en welke productiecapaciteit van wind, zon en elektrolyzers en daaraan gerelateerde importen daarvoor nodig is. Vervolgens rekenen we de min en max posities door met het Carbon Transition Model<sup>1</sup>. Dit is een rekenmodel dat de industrie beschrijft en dat gemaakt is voor en met de grote industriële spelers in Nederland (ontwikkeld in de periode 2019-2022 en toegepast voor I13050-editie-2)<sup>2</sup>. Dit model wordt gekoppeld aan de I13050-editie-2 scenario's voor 2050 binnen het Energy Transition Model<sup>3</sup>, dat de Netbeheerders gebruiken om te kijken wat de invloed is van deze keuzes op het gehele Nederlandse energiesysteem. Daarmee kan er dan o.a. zicht worden verkregen op de vraag naar groene elektriciteit en groene moleculen door de industrie. Bovendien wordt duidelijk hoe deze vraag zich verhoudt met de in Nederland geproduceerde en geïmporteerde elektriciteit en waterstof.
2. In het tweede perspectief vertrekken we vanuit minimale en maximale randvoorwaarden van de nieuwe werkelijkheid. Gegeven verwachtingen omtrent beschikbaarheid van (groene) stroom en (circulaire) grondstoffen in Nederland (productie & import), kunnen we verkennen welke industrie logischerwijs economisch zal overleven door aanpassing, dan wel tot sluiting zal overgaan of nieuw zal opbloeien? In dit gedeelte van de analyse is veel aandacht voor 'Wat als' vragen, zodat beter begrepen kan worden hoe het industrie landschap kan veranderen wanneer omstandigheden veranderen, zoals bijvoorbeeld het aan banden leggen van scope 3 emissies. Deze economische optimalisaties worden

<sup>1</sup> <https://carbontransitionmodel.com/>

<sup>2</sup> <https://www.netbeheernederland.nl/dossiers/toekomstscenarios-64>

<sup>3</sup> <https://energytransitionmodel.com/>



berekend met behulp van TEACOS<sup>4</sup>. Het rekenmodel TEACOS is de afgelopen jaren gebruikt ter ondersteuning van verschillende industrie clusters en Cluster Energie Strategieën. TEACOS rekt transitiepaden uit waardoor er zicht ontstaat op welke stappen wanneer in de tijd logischerwijs zullen plaatsvinden om het gevraagde doel te bereiken. De winnende industrieën zijn diegenen die de meeste waarde toevoegen binnen het Nederlandse energiesysteem (gegeven beschikbaarheid van groene stroom, circulaire koolstofbronnen en eisen aan de reductie van CO<sub>2</sub> uitstoot). TEACOS wordt gebruikt in consortia van industrie, overheid en netbeheerders in de clusters Rotterdam, Zeeland en Chemelot.

### **Leeswijzer**

Eerst geven we een logische beschrijving op hoofdlijnen van welke ontwikkelingen de verschillende industriesectoren kunnen doormaken in Nederland. Dit noemen we “Het Verhaal”. Vervolgens bespreken we kwalitatief de resultaten van enkele analyses. Tenslotte formuleren we een aantal maatschappelijke vragen en dilemma’s die elk afzonderlijk, maar ook in samenhang nadere verdieping behoeven.

### **Disclaimer**

Dit “Verhaal” over de industrie in 2050 en de daaropvolgende Min-Max analyse bouwen voort op eerder werk dat door ISPT, Kalavasta en QuoMare is gedaan in het kader van I13050 editie 2 en t.b.v. een aantal Cluster Energie Strategieën. “Het Verhaal” bevat de “Lessons Learned” van deze eerdere exercities. Maar de daaropvolgende Min Max analyse is slechts ten behoeve van een verdere discussie in het PES expert team en de resultaten van deze analyse zijn niet rechtstreeks vergelijkbaar met de uitkomsten van I13050 editie 2 of een CES. In de workshop van 14 feb 2023 zijn zowel de gezamenlijke aannames onder de scenario’s, als de doorrekeningen met CTM & TEACOS besproken. Deze doorrekeningen zijn expliciet alleen opgesteld en gedeeld voor discussie-doeleinden, om een aantal belangrijke dilemma’s te kwantificeren en om het Expert Team te inspireren. Door de beperking in tijd en middelen was een robuuste analyse niet mogelijk. Voor deze analyse waren slechts twee weken beschikbaar waren, waar normaliter een half jaar tot een jaar nodig zou zijn.

Daarnaast is een uitgangspunt van de Tekenkamer van de Industrie om alle betrokken stakeholders, en vooral de industrie te betrekken om een breed draagvlak onder de analyses te borgen. Deze ruimte was er helaas niet in deze korte opdracht.

Om deze redenen zijn de kwantitatieve uitkomsten uit de analyses geen onderdeel van dit document.

---

<sup>4</sup> <https://www.quomare.com/products/teacos>



## 2. Het Verhaal

### 2.1 Uitgangspunten

Voordat we aan een logische redenering beginnen over de Nederlandse industrie in 2050 is het goed een aantal uitgangspunten voor de redenering te bespreken.

- A. Er is maar een beperkt aantal manieren waarop de huidige industrie zijn scope 1, 2 en 3 emissies omlaag kan brengen. Wij onderscheiden zeven hoofdroutes, met een beperkt aantal sub-routes:
1. Het aanpassen van de input van een productiesite
    - i. Andere energiedragers
    - ii. Andere grondstoffen
  2. Het aanpassen van het productieproces
  3. Het afvangen van emissies
    - i. En daarna opslaan of
    - ii. De afgevangen moleculen hergebruiken als grondstof
  4. Het aanpassen van de producten van de site
    - i. Een kleiner productievolume of
    - ii. Een ander productportfolio met minder koolstofatomen
  5. Het hergebruiken van de End-Of-Life producten als input voor de site
    - i. Mechanische recycling
    - ii. Chemische recycling
  6. Nieuwe interactie tussen bedrijven: de uitwisseling van (nieuwe) restgassen met andere sites, mede door de mogelijkheden van nieuwe infrastructuur
  7. De reductie van scope 2 emissies door inkoop van elektriciteit, waterstof en warmte met een lagere CO<sub>2</sub> intensiteit

Deze zeven hoofdroutes en bijbehorende sub-routes geven een beperkt aantal logische combinaties.

- B. Iedere industriesector heeft zijn eigen pad en eigen eindbeeld voor klimaatneutraliteit.  
*Bijvoorbeeld het pad en het eindbeeld voor een staalfabriek is geheel anders dan voor een raffinaderij.*
- C. Binnen de basisindustrie is het pad dat gekozen kan worden in een industriesector voor het ene bedrijf anders dan dat van het andere bedrijf  
*Bijvoorbeeld het ene stoomkraakbedrijf gaat voor traditioneel stoomkraken met CCS. Het andere gaat voor elektrisch kraken. Het ene stoomkraakbedrijf gaat meer voor pyrolyse olie, het andere meer voor biogene en/of synthetische grondstoffen.*
- D. Buiten de basisindustrie convergeren alle beelden richting elektrificatie met emissieloze stroomopwek en groene waterstof.  
*Bijvoorbeeld zowel in de voedselverwerkende industrie als de papier- en kartonindustrie wordt aardgas voornamelijk vervangen door elektriciteit.*
- E. In 2019 zorgden slechts 14 energie-intensieve bedrijven in de basisindustrie (raffinage, chemie en staal), t.o.v. de totale industrie, voor het energetische en grondstoffengebruik (exclusief rechtstreekse doorvoer) van:
1. 98% van de aardolie (3180 PJ)
  2. 96% van de steenkool (140 PJ)
  3. 58% van het aardgas (390 PJ)
- We noemen die 14 bedrijven hierna de G14. Deze G14 zijn verantwoordelijk voor ongeveer 61% van de scope 1 emissies van de industrie.



- F. Er kan in grote lijnen gesproken worden over drie periodes waarin een bepaalde technologie de grootste emissiereductie zal geven in de basisindustrie:
1. Voor de periode 2023-2030 is dit voor 60% CCS en de overige 40% valt grotendeels toe te rekenen aan groene elektrificatie en groene waterstof
  2. 2030-2040 is het decennium van de verregaande elektrificatie en groene moleculen en de pilots op het gebied van synthetische brand- en grondstoffen.
  3. 2040-2050 is de periode van opschaling van synthetische brand- en grondstoffen en de afbouw van CCS in een aantal sectoren
- G. Niet alleen de soort input m.b.t. een energiedrager of daaraan gerelateerde grondstof is van belang, maar indien er een outlook voor het Nederlandse industriesysteem in 2050 wordt gemaakt is het ook van belang of deze energiedrager / grondstof geproduceerd wordt in Nederland of geïmporteerd wordt. Dit is in eerdere studies onderzocht, zoals in HyChain2<sup>5</sup>: een studie naar import van groene elektriciteit en daarvan afgeleide moleculen uit (bijna) alle landen van de wereld naar Nederland m.b.v. HVDC kabels, pijpleiding, of schip (molecuul specifiek). Uit HyChain2 is gebleken dat import van groene elektriciteit via HVDC en waterstof via gaspijpleiding mogelijk is voor afstanden tot ongeveer 3000 km. Een logisch molecuul om per schip te vervoeren is groene ammoniak. Zeker als deze ammoniak rechtstreeks toe te passen is als grondstof voor kunstmest producten dan wel als bunker fuel en niet eerst “terug gekraakt” moet worden in waterstof en stikstof. Ook methanol en LOHC's (Liquid Organic Hydrogen Carriers) zoals perhydro-benzyl toluene zijn geschikt om waterstof over grote afstand te transporteren. Per schip kunnen waterstof carriers (ammoniak, methanol, LOHC) vaak over meer dan 3000 km economisch vervoerd worden.
- H. Verder is het van belang of in de toekomst de vraag van een energiedrager of product toeneemt of afneemt.  
*Bijvoorbeeld bij benzine en diesel is dit evident, die nemen in ieder klimaatneutraal scenario af, maar bij de productie van ammoniak is dit minder evident. De vraag naar kunstmest kan weliswaar sterk dalen door een circulaire en/of regeneratieve landbouw te veronderstellen, maar er is ook een mogelijkheid dat ammoniak de brandstof wordt voor zeevrachtschepen en dat daarmee de vraag naar ammoniak sterk groeit.*
- I. In de toekomst zullen niet alleen de huidige bedrijven een rol hebben, maar zullen er tijdens de transitie ook nieuwe bedrijven ontstaan. Indien we voornamelijk naar nieuwe bedrijven kijken, die energie-/grondstofintensief zijn in relatie tot broeikasgasemissies dan gaat het om nieuwe bedrijven die de volgende moleculen produceren of verwerken ter vervanging van fossiele moleculen:
1. Biogene moleculen
  2. Gerecyclede moleculen
  3. Synthetische moleculen
- J. Timing is van het grootste belang. De G14 zijn allen multinationals met hun hoofdkantoor buiten Nederland. Indien de Nederlandse directie een case kan maken om te investeren in emissieloze productie in Nederland, dan is er een kans dat het bedrijf hier blijft voortbestaan. Is eenmaal besloten om nieuwe investeringen in emissieloze productie elders als eerste te proberen dan kan het zijn dat de Nederlandse vestiging zijn bestaansrecht verliest. Om de emissieloze productie in Nederland te laten ontstaan, is het dus zaak dat er op korte termijn investeringsbeslissingen in Nederland vallen.
- K. Alle investeringsbeslissingen van bedrijven moeten gemaakt worden tegen de achtergrond dat de prijzen van de fossiele brand- en grondstoffen zeer sterk kunnen fluctueren, evenals sterke schommelingen in de CO<sub>2</sub> prijs. Ook de verwachting van de prijs van duurzame energie en daarvan afgeleide moleculen kent een grote onzekerheid. Belangrijk is echter dat de onzekerheid m.b.t. de prijs van hernieuwbare energie, zoals zon en wind, veel kleiner is

<sup>5</sup> <https://ispt.eu/publications/si-20-06-final-report-hychain-2/>



dan die van fossiele energie en biomassa. Alle beslissingen moeten dus genomen worden met een grote bandbreedte van onzekerheid.

De keuzes die gemaakt kunnen worden zijn over het algemeen binair. We bedoelen daarmee dat als een bedrijf voor de ene optie kiest, het vaak niet logisch is om tegelijk ook een andere optie te kiezen. En dat als een bedrijf een optie kiest dit ook grote implicaties heeft voor andere partijen, zoals industriële partijen upstream of downstream van het desbetreffende bedrijf, maar ook netbeheerders en verschillende overheden. Het verschijnsel dat de onzekerheid over de toekomstige paden en eindbeelden van bedrijven een binair karakter heeft en niet een beperkte bandbreedte van onzekerheid noemen we Strategische Binaire Onzekerheid. Het is dit verschijnsel dat het tegelijkertijd ook mogelijk maakt om een beperkt aantal logische keuzes te formuleren.

*Bijvoorbeeld: Tata Steel kan als eindbeeld voor het eerste deel van het proces van staalproductie kiezen voor directe ijzerertsreductie (DRI) met groene waterstof van off-shore windparken op de Noordzee of het kan besluiten om ijzerertsbriketten te importeren uit een land met goedkope(re) hernieuwbare energie. In het eerste geval moet er infrastructuur komen voor waterstof, elektriciteit en off-shore windmolens. In het tweede geval is die infrastructuur en elektriciteitsproductie capaciteit niet nodig en volstaat een haven waar ijzerertsbriketten worden gelost en vervoerd naar de staalfabriek. Vergelijkbare strategische binaire onzekerheden komen we tegen voor alle bedrijven in de basisindustrie, de netbeheerders en de (rijks)overheid.*

Hieronder beschrijven we per industriesector de technologische mogelijkheden en voor de hand liggende keuzes. Bij de logische keuzes hebben we met name gebruik gemaakt van datgene dat we geleerd hebben in de gesprekken die we in het kader van II3050 industrie hebben gehouden met de G14, de clusters en een aantal spelers die betrokken zijn bij de opkomende markten voor biogene, gerecyclede en synthetische moleculen.

## **2.2 Staalsector**

In een klimaatneutrale toekomst zullen we staal nodig hebben voor tal van toepassingen. Vanuit geopolitiek oogpunt is het hebben van staalfabrieken in Noord-West Europa logisch. Nederland is een logische optie o.a. vanuit de ligging dicht bij de Noordzee en de goede verbindingen naar de rest van Noord-West Europa. Staal wordt momenteel voor een belangrijk deel ingezet voor de transportsector, (voedsel)verpakking, de bouw en voor de productie van windparken. Voor sommige sectoren is het plausibel dat de vraag naar staal gaat dalen, bv in de transportsector. Daarentegen zal de vraag naar staal in andere sectoren voorlopig alleen maar groeien, zoals bv voor off-shore windparken.

Een aantal jaar geleden had Tata Steel (behorend tot de G14) het plan om zijn productie emissielozer te maken door een nieuw productieproces te ontwikkelen: het Hisarna proces. Daarna besloot men om afvang van CO<sub>2</sub> toe te passen op de hoogovens. Vorig jaar werd besloten het anders aan te pakken met Direct Iron Reduction (DRI) m.b.v. aardgas met inzet van CCS. Daarna zou het aardgas vervangen worden door groene waterstof geproduceerd uit off-shore wind. Misschien is dit het eindbeeld voor Tata Steel, maar er is ook de optie dat de DRI in het buitenland gebeurt (in een land met goedkopere groene stroom) en waarbij alleen het laatste deel van het staalproces in Nederland plaatsvindt. Tata Steel koopt dan de “groene” ijzererts briketten in en die worden per schip naar Nederland vervoerd. De optie dat Tata Steel sluit in Nederland moet ook beschouwd worden. De hier beschreven opties vragen om uiteenlopende, sterke aanpassingen van de infrastructuur.

Naast de (binaire) onzekerheid tussen de verschillende opties, bestaat er uiteraard ook nog onzekerheid binnen de verschillende opties. Zo is er onzekerheid over dat DRI waarschijnlijk niet





werkt met de momenteel gebruikte ijzerertsen, maar dat daarvoor speciale ijzerertsen nodig zijn die minder beschikbaar zijn in de wereld, waardoor deze grondstof snel duurder zou kunnen worden als meer staalfabrieken in de wereld overschakelen op DRI.

### 2.3 Raffinaderijen

In een klimaatneutrale toekomst voor Europa vervalt de Europese vraag naar benzine, diesel, kerosine en bunkerbrandstof voor zeeschepen. De vraag naar nafta van stoomkrakers zou kunnen blijven bestaan. Het lijkt logisch te veronderstellen dat in een krimpende markt niet alle raffinaderijen zullen overleven in Nederland en dat eerst de minst complexe raffinaderijen gesloten zullen worden. De meest complexe raffinaderijen hebben de meeste flexibiliteit om producten voor de chemische industrie te maken in de toekomst. Echter is het denkbaar dat er ook na 2050 behoefte zal zijn aan fossiele brandstoffen in andere werelddelen en dat door Europese regelgeving scope 1 en 2 weliswaar sterk verminderen in Nederlandse raffinaderijen, maar scope 3 emissies niet noodzakelijk omdat de producten in andere continenten verkocht worden. Ook leeft het idee dat vanwege de gunstige ligging aan de Noordzee Nederlandse raffinaderijen binnen Europa kunnen behoren tot de “last man standing”. Desondanks voorzien alle raffinaderijen een sterke krimp van het volume. In Nederland zijn er vijf raffinaderijen in het Rotterdamse cluster (Shell Pernis, ExxonMobil, BP, Gunvor, VPR Energy) en één in het Zeeuwse cluster (Zeeland Refinery), allen behorend tot de G14.

Aangezien er bij de raffinaderijen een focus ligt op scope 1 en 2 emissiereductie zijn de eerste stappen gericht op het toepassen van CCS om de gassen die vrijkomen bij de raffinage en die gebruikt worden voor de energievoorziening en als grondstof voor de plants te decarboniseren. Een sterke vermindering van het gebruik van aardgas en/of het decarboniseren van aardgas zijn al voorzien voor dit decennium. Ook worden de eerste pilotplants of kleinere fabrieken gebouwd, die op basis van biomassa brand- en grondstoffen maken. Verder zijn er raffinaderijen die voor zichzelf een rol zien in het maken van pyrolyse olie en/of het ontdoen van verontreinigingen van pyrolyse olie.

De industrie wenst biomassa in zulke hoeveelheden in te zetten dat het onwaarschijnlijk lijkt dat het land- en bosbouwsysteem in de wereld zowel 10 miljard mensen in 2050 kan voeden als in voldoende mate biogene moleculen kan produceren ter substitutie van fossiele moleculen. Voor de inzet van recycled plastics en slachtafval geldt dit nadeel niet. Op het vraagstuk van beschikbaarheid van gerecyclede moleculen in pyrolyse olie komen we terug bij de Stoomkrakers.

Hoewel er momenteel plannen zijn om op uiterst kleine schaal (ca. 1000 ton per jaar) synthetische kerosine te produceren in Rotterdam (ZENID project bij Uniper), wordt het bouwen van grotere pilot fabrieken voor synthetische brand- en grondstoffen pas voorzien na 2030. Extra groene ammoniakfabrieken zullen met name gebouwd gaan worden voor zeevrachtvaart na 2030. De opschaling van fabrieken voor synthetische productie van brandstoffen en grondstoffen is voorzien voor na 2040.

### 2.4 Stoomkrakers

Stoomkrakers leveren de bouwstenen voor kunststoffen en andere chemische producten. Onze maatschappij zal in 2050 nog steeds behoefte hebben aan een groot deel van deze stoffen. Wel is het mogelijk dat dat er genormeerd wordt op een minimum percentage gerecyclede moleculen en dat er genormeerd zal worden op meermalig gebruik van kunststoffen, waardoor het totale gebruik van kunststoffen zal worden teruggedrongen.

Er zijn in Nederland momenteel drie bedrijven met stoomkrakers en in totaal vijf stoomkrakers: namelijk Sabic in Geleen, Dow Terneuzen en Shell Moerdijk, alle drie behorend tot de G14. Sommige bedrijven zetten in op decarbonisatie van de restgassen met CCS en gebruiken dan de blauwe waterstof ter ondervuring van de stoomkrakers. Terwijl andere bedrijven meer inzetten op elektrische fornuizen en het restgas methaan omzetten naar ethyleen. Ook de mate waarin in de





toekomst biogene, gerecyclede en fossiele moleculen de grondstof zijn voor stoomkrakers, verschilt per bedrijf.

Over het algemeen kan gezegd worden dat er beperkte beschikbaarheid van biogene moleculen zal zijn en dat ook het verkrijgen van genoeg pyrolyse olie uit ingezamelde kunststoffen een sterke beperking zal kennen. Ter illustratie: uit het in Nederland ingezamelde kunststof kan er naar schatting pyrolyse olie worden gemaakt om één van vijf krakers voor 20%-40% te voorzien met grondstof. Bij meer inzet in de bestaande stoomkrakers zullen er dus grote volume pyrolyse olie uit het buitenland moeten komen, dan wel import van plastic afval voor grootschalige omzetting naar pyrolyse olie. Waarbij de vraag zich opwerpt of landen om ons heen niet ook een vraag naar gerecyclede moleculen zullen ontwikkelen.

## 2.5 Overige Basis Chemie

De stoomkrakers produceren in feite de grondstoffen voor de Nederlandse basischemie.

Daarnaast zijn er meerdere bedrijven die industriële gassen (o.a. waterstof) verwerken of maken in de Nederlandse industrie. Twee daarvan (Air Products en Air Liquide) behoren tot de G14. Deze bedrijven verwerken voor een deel de restgassen van de raffinaderijen. Daarmee is het lot van deze bedrijven ook sterk verbonden met die van de raffinaderijen.

Decarbonisatie van restgassen (WGS + CCS) is de logische eerste stap die deze bedrijven zetten tot 2030. Tevens zijn er plannen om de productietechnologie te veranderen. Het gaat dan om het vervangen van SMRs door ATRs, die een hogere mate van CO<sub>2</sub> afvang mogelijk maken. Daarnaast hebben de bedrijven plannen om in toenemende mate vanaf nu actief te zijn in de handel en de productie van groene waterstof.

Een ander bedrijf dat tot de organische basischemie en de G14 behoort is BioMCN. Dit bedrijf maakt(e) uit zowel aardgas als biomethaan methanol. Methanol is een basisbouwsteen voor veel chemische processen en het wordt ook voorzien als scheepsbrandstof, naast ammoniak.

## 2.6 Kunstmestfabrieken

Er zijn in Nederland twee grote kunstmestfabrieken: Yara en OCI, beiden G14 bedrijven.

Kunstmestfabrieken maken met name kunstmest en meestal in twee "smaken". Ureum en Ammonium Nitraat. In de eerste plaats zal er een verschuiving gaan plaatsvinden van Ureum (met koolstof) naar Ammonium Nitraat (zonder koolstof). Hierdoor verdwijnen de scope-3 CO<sub>2</sub> emissies bij de toepassing van de kunstmest.

Verder lijkt het plausibel dat de landbouw in Noord-West Europa steeds meer toegaat naar een regeneratieve landbouw of een circulaire landbouw. Beide landbouwsystemen vermijden de inzet van kunstmest en dringen deze steeds verder terug. Echter deze landbouwsystemen zullen ook leiden tot een sterke reductie van het aantal stuks vee in Nederland, omdat grootschalige import van "krachtvoer" uit andere continenten strijdig is met deze systemen. Vandaar dat ook de beschikbare mest sterk terugloopt en er waarschijnlijk toch enige input van kunstmest nog geruime tijd nodig zal blijven.

Tegenover de afname van de vraag naar kunstmest richting 2050 staat een grote extra vraag vanuit de zeevrachtvaart waar ammoniak een geschikt alternatief lijkt voor fossiele bunkerolie. Kunstmestfabrieken nemen nu aardgas in als brand- en grondstof en maken daar waterstof van. De CO<sub>2</sub> wordt al (deels) afgevangen. In de toekomst kan het aardgas vervangen worden door in Nederland geproduceerde blauwe of groene waterstof. Ook is er een mogelijkheid om de ammoniak benodigd voor kunstmest en scheepsbrandstof te importeren.

## 2.7 Rest Anorganische chemie

Behalve productie van ammoniak en derivaten produceert de anorganische chemie zout, anodes en andere basischemicaliën. Eén van de bekende grote bedrijven in de anorganische chemie is Nobian, met meerdere grote vestigingen in Nederland. Nobian heeft de afgelopen jaren al sterk



ingezet op de elektrificatie van zijn productieprocessen en heeft de intentie om in 2030 geen CO<sub>2</sub> meer uit te stoten. Binnen de sector zijn er meerde grote elektriciteitsgebruikers, hoewel sommige bedrijven ook nog fossiele grondstoffen gebruiken. In het algemeen zal binnen deze sector elektrificatie een grote rol spelen, en waterstof in mindere mate en CCS nauwelijks.

## **2.8 Afvalverwerkende industrie**

De consument zal in de toekomst een grotere bijdrage moeten leveren aan het vermijden en scheiden van afval. Daar zijn diverse mogelijkheden voor die de overheid met beprijzen en normeren kan afdwingen. Verder kan er wetgeving komen die het mogelijk maakt om producten beter repareerbaar te maken en kan eenmalig gebruik van producten verder worden verboden. De richting van de afvalverwerkende industrie is duidelijk. Eerst zal CCS worden toegepast op het afval dat we nog verbranden. Er zal in toenemende mate verdere afvalscheiding en recycling gaan plaatsvinden. Daarmee verdwijnen niet alleen de emissies in de komende 10 jaar grotendeels, maar zullen in de periode daarna de verbrandingsovens steeds minder afval hoeven te verbranden. Nu leveren AVI's warmte en elektriciteit, maar met het steeds beter scheiden van het afval zal het rendement steeds minder worden.

## **2.9 Nieuwe basisindustrie**

De nieuwe basisindustrie zal gaan over de inzet van biogene, gerecyclede en synthetische moleculen. Van alle drie kunnen moleculen worden gemaakt, die nu gemaakt worden uit fossiele moleculen. Zoals eerder al aangegeven zal de beschikbaarheid van biogene moleculen beperkt zijn vanwege de (roof)mijnbouw die anders wordt gepleegd op de bodem, mede vanwege de enorme hoeveelheden fossiel die moeten worden vervangen. Ook de beschikbaarheid van gerecyclede moleculen zal beperkt zijn, omdat er in de gehele levenscyclus van gerecyclede materialen veel moleculen "verloren" gaan en daar bovenop tijdens het recycling proces veel energie nodig is om nieuwe brand- en grondstof te creëren. Tenslotte is ook de beschikbaarheid van groene elektriciteit en groene waterstof die nodig is om synthetische moleculen te produceren beperkt door o.a. de beschikbare ruimte op land en de Noordzee voor wind, zon en elektrolyser parken. De bestaande basisindustrie zal proberen om een rol te spelen in de nieuwe basisindustrie. Maar in de komende twee decennia zullen ook veel start-ups en kleinere bedrijven proberen om succesvol te worden met productietechnieken en manieren om de grondstoffen beschikbaar te krijgen. Indien één of meerdere van deze spelers succesvol zijn, is de kans groot dat bestaande spelers deze nieuwe basisindustrie spelers opkopen en daarmee de continuïteit van hun bedrijf borgen.

## **2.10 Papier en kartonindustrie**

De papier en kartonindustrie in Nederland is feitelijk een kartonindustrie. Kenmerk van de kartonindustrie is dat veelal het karton eenmalig wordt gebruikt. In het eindbeeld voor 2050 zou normering dat een kartonnen verpakking tenminste 2x wordt gebruikt de productie van karton al doen afnemen met 50%.

Het energiegebruik in de kartonindustrie komt grotendeels voor rekening van het drogen van de papierpulp. Er zijn inmiddels productieprocessen bekend waar nieuw karton kan worden gemaakt uit ingezameld papier of karton zonder het gebruik van water, maar deze hebben nog geen grote vlucht genomen. Op dit moment wordt een bijzonder hoog percentage van het in Nederland gebruikt papier en karton weer ingezameld en gebruikt bij de productie van nieuw karton.

De warmte die nodig is voor het drogen van papierpulp komt nu van aardgas. Het lijkt logisch dat dit in de toekomst elektrisch wordt gedaan met inzet van o.a. industriële warmtepompen. Doordat hierbij gebruik kan worden gemaakt van omgevingswarmte en restwarmte, is dit proces een aantal malen efficiënter dan het gebruik van aardgas.



## 2.11 Voedingsindustrie

In de voedingsindustrie wordt warmte met een relatief lage temperatuur gebruikt om voedingsmiddelen te wassen, drogen, raffineren en conserveren. De verwarming gebeurt nu met aardgas, maar in de toekomst zal dit meer met elektriciteit en industriële warmtepompen gaan plaatsvinden.

De voedingsindustrie zal qua omvang in Nederland eerder krimpen dan toenemen. Dit heeft te maken met het streven naar een meer lokale, circulaire en/of regeneratieve landbouw. Hiervoor worden minder pesticiden, kunstmest en krachtvoer uit andere werelddelen gebruikt. De opbrengst van percelen met biologische teelten liggen over de jaren op ongeveer 80% van teelten met pesticiden. De trend voor de grootte van de Nederlandse veestapel is eerder neerwaarts dan opwaarts en dus lagere melk- en vleesproductie. Daarmee is de groei van grote spelers in de voedingsindustrie zoals Friesland Campina, Avebe en Cosun niet vanzelfsprekend en zullen zij zoeken naar andere product(en)(samenstellingen) en verdienmodellen richting 2050.

## 2.12 Datacenters

Het gebruik van (online) data en verwerkingscapaciteit groeit snel in onze maatschappij. Die groei is voorlopig nog niet ten einde o.a. als gevolg van de inzet van kunstmatige intelligentie voor zoekopdrachten, meer gebruik van video(bellen), zelfrijdende voertuigen en slimme apparaten in en om het huis. De groei van datagebruik en de verwerkingscapaciteit, die we in het verleden hebben gezien werd gecombineerd met een veel hogere jaarlijkse efficiency van de datacenters, waardoor de netto groei lager uitviel dan de groei van het dataverkeer. Er komt wellicht een moment dat een nog hogere efficiency van de datacenters niet goed mogelijk is waardoor de groei van de datacenters dichter bij de groei van het dataverkeer komt te liggen.

Datacenters gebruiken uitsluitend elektriciteit en water of lucht om te koelen. Indien we een elektriciteitssysteem hebben dat emissieloos is, is dat vanuit klimaatperspectief direct geen probleem, maar indirect mogelijk wel omdat er gebruik gemaakt wordt van beperkt beschikbare duurzame productiecapaciteit en infrastructuur. Daarnaast is ook de ruimte in Nederland schaars.

## 2.13 Overige industrie

De overige industrie bestaat uit een veelvoud aan sectoren o.a:

- A. Niet metaal-mineralen waaronder asfaltfabrieken, steenfabrieken en glasfabrieken
- B. Machine- en transportfabrieken
- C. Hout- en houtproductenbedrijven
- D. Leer- en textielbedrijven
- E. Overig

De overige industrie beschrijven we in dit stuk niet per sector. Kenmerk van al deze sectoren is dat de verwarmingsvraag met aardgas verschuift naar elektriciteit.

## 3. Methode

De analyse is uitgevoerd met behulp van twee modellen: het CTM (Kalavasta) en TEACOS (Quo Mare). CTM en TEACOS hebben verschillende perspectieven.

Het CTM bevat een beschrijving van individuele Nederlandse industriële sites inclusief de opties om deze sites aan te passen op de zeven hoofdroutes voor decarbonisatie uit Het Verhaal. CTM is een industriemodel waarin decarbonisatie strategieën per site worden ingesteld (input). De gevolgen van deze strategieën worden bij elkaar opgeteld zodat de gevolgen voor beslag op grondstoffen en energie alsmede gevolgen voor de CO<sub>2</sub> uitstoot kunnen worden vastgesteld (output). In de II3050 studie is het CTM gebruikt om zicht te krijgen op de transitieplannen van de industrie, waarbij het CTM als een soort van enquêteformulier is ingevuld samen met de



bedrijven. CTM/II3050 gaat dus af op wat de industrie zegt te gaan doen en is daarmee een goede voorspelling onder de huidige aannames.

TEACOS redeneert vanaf de andere kant: de verwachte (beperkte) beschikbaarheid van circulaire grondstoffen en de verwachte maximale beschikbaarheid van (groene) stroom zijn input. Ook de CO<sub>2</sub> doelen (zowel decarbonisatie als recarbonisatie doelen) zijn input. TEACOS doet daarmee een analyse die berekent welk industrie landschap economisch en technisch gezien zal ontstaan binnen die doelen en randvoorwaarden. Industrie die de meeste waarde haalt uit de nieuwe omstandigheden, zal economisch overleven. Industrie die onvoldoende waarde toevoegt binnen de nieuwe omstandigheden, zal verdwijnen. Strategieën van de industrie en de bijbehorende timing zijn dus output van TEACOS. De gedachte hierachter is dat met deze aanpak het gedrag van de industrie in verschillende omstandigheden kan worden nagebootst. TEACOS houdt in de berekening rekening met het tijdpad 2023-2050. Voor ieder tussen liggend jaar en iedere sector wordt overwogen of een goedkoper alternatief bestaat dan simpelweg door produceren en de ETS prijs betalen als belasting voor de CO<sub>2</sub> uitstoot.

## 4. Resultaten

### Analyse uit min/max scenario perspectief

Met het CTM is een Min en Max scenario opgesteld. Deze scenario's zijn sterk gebaseerd op input vanuit de industrie (opgehaald in II3050 v2 industrie), maar er zijn op basis van expert opinie variaties aangebracht om beelden van de uithoeken van toekomstige industriële ontwikkeling in Nederland te creëren. Uit beide scenario's blijkt dat scope 1 en 2 emissies zeer sterk zullen reduceren richting 2050. Scope 3 emissies dalen enigszins, maar blijven significant in 2050. Waterstof gaat een belangrijke rol spelen als grondstof/utility voor de industrie, waarbij een flink deel van de waterstof geïmporteerd zal worden. Er ontstaat weinig productie van (sustainable) synfuels in beide scenario's. Dit komt doordat scope 3 emissies blijven toegestaan (als aanname). Nederlandse raffinaderijen kunnen in 2050 bijvoorbeeld benzine produceren uit fossiele bronnen, maar deze exporteren naar andere continenten.

In zowel de CTM scenario's als de TEACOS analyses blijkt dat mobiliteit in de toekomst (2050 outlook) voor wat betreft personen vervoer grotendeels elektrisch zal zijn. Vrachtvervoer zal overgaan op waterstof (FCEV), elektrisch dan wel op groene diesel. De luchtvaart maakt de transitie naar Sustainable Aviation Fuel (SAF) op basis van Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) dan wel synthetische kerosine. De binnenvaart wordt deels geëlektrificeerd of gaat groene diesel gebruiken. Voor wat de zeevaart betreft, op termijn zal groene Ammonia, synthetische MGO (Marine Gas Oil) dan wel HVO gebaseerde MGO gebunkerd worden. De vraag naar elektriciteit neemt in alle berekeningen zeer sterk toe.

### Analyse uit min/max randvoorwaarden perspectief

Met TEACOS zijn verschillende wat-als casus berekend. De strategieën worden vastgesteld op basis van de economisch meest waardevolle keuzes en niet langer op basis van interviews/expert opinie.

Eén van de wat-als analyses beschouwt de situatie waarin scope 3 emissies wel beperkt zullen worden. Kolen, gas en olie worden in deze casus geleidelijk verboden. De gerechtelijke uitspraak in de zaak Shell – Milieudefensie uit 2021 heeft feitelijk al deze consequentie. Uit de doorrekening blijkt dat prijzen van energie- en koolstof-intensieve producten zeer sterk zullen stijgen, ongeacht of de productie in Nederland of elders plaats vindt. Echt groene producten zijn (nog) duur. De prijs van staal stijgt zeer sterk. Ook afgeleiden van de chemische industrie worden vele malen duurder. Daardoor worden alledaagse producten als verf, meubels en windmolens



kostbaarder. De impact op de kosten van mobiliteit, wonen en voedselproductie is een stuk kleiner.

Voor de overheid werpt dit de vraag op hoe de gevolgen van deze prijsstijgingen kunnen worden opgevangen. Hierbij kan gedacht worden aan het identificeren en beschikbaar maken van alternatieve materialen, maar ook aan vraagsturing en proactieve armoedebestrijding.

In iedere analyse blijkt het essentieel dat de overheid een gelijk speelveld creëert. Zonder gelijk speelveld bestaat het risico dat groene productie in Nederland zich uit de markt prijst en dat voordelige 'grijze' producten worden geïmporteerd van buiten Europa. (ref. Carbon Border Adjustment Mechanism).

Met de introductie van scope 3 beperkingen zal een deel van de huidige raffinage en conversie capaciteit worden stilgelegd. Er ontstaan echter ook serieuze kansen voor nieuwe industrie: bio- en synfuels complexen verrijzen, aangevuld met circulaire koolstof stromen (Refuse-Derived Fuel (RDF) en Plastics). Raffinaderijen zullen de komende 3 decennia worden omgebouwd naar nieuwe industrie configuraties en zijn het fundament voor een groene, circulaire industrie. Deze technologieën nemen niet-fossiele koolstoffen in (zoals plastics, slachtafval, huishoudafval, of biomassa) en converteren die naar duurzame fuels. In de TEACOS analyse zijn alleen technologieën in overweging genomen die bewezen/mature zijn (zoals bv HVO, Waste-To-Liquid (WTL), Alcohol-to-Jet (ATJ), Pyrolyse Olie (PO) en Power-to-Liquid (PTL)). De analyse laat zien dat we ons op een kantelpunt bevinden v.w.b. de grootschalige introductie van sommige van deze technologieën.

De overheid zou actief mogen plannen en beleid ontwikkelen om de omvorming van het industrielandchap in goede banen te leiden en strategische economische kansen te benutten.

In een andere casus voerden we beperkingen in op de beschikbaarheid van niet-fossiele grondstoffen om te onderzoeken hoe deze schaarse grondstoffen het best verdeeld kunnen worden. De mate van beschikbaarheid blijkt bepalend voor het verwachte toekomstige industrie landschap. Bij krachtig beleid dat de beschikbaarheid van niet-fossiele grondstoffen kan vergroten, verbetert de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie mee. Het omgekeerde is ook het geval: blijft het aanbod van de niet-fossiele grondstoffen achter, dan staat de positie van de Nederlandse industrie sterk onder druk richting 2050.

## 5. Maatschappelijke discussie

Het werk van de II3050 en de CES'en roept een aantal maatschappelijke vragen en dilemma's op. Een doorgrond begrip van de dilemma's en de bijbehorende consequenties is cruciaal voor het nemen van beslissingen die de transitie van de industrie in de gewenste richting stuurt.

Het gaat dan bijvoorbeeld om vragen als:

1. Is het acceptabel dat scope 1 en 2 in de industrie dalen richting 0 maar scope 3 niet voor het jaar 2050?
2. Hoeveel synthetische brandstoffen willen en kunnen we in Nederland gaan produceren t.b.v. internationale lucht- en scheepvaart?
3. Hoeveel biogene brand- en grondstoffen willen we in Nederland telen en importeren en hoe voorkomen we een niet circulaire toepassing van de mineralen in de biomassa?
4. Hoeveel groene waterstof en daarvan afgeleide moleculen gaan we importeren?
5. Hoeveel "end of life" plastic gaan we importeren in ruwe vorm of in afgeleide vorm als bijvoorbeeld pyrolyse olie en in hoeverre gaat dit mogelijk zijn?
6. Hoe gaan we het nieuwe industriële complex van de basisindustrie opnieuw balanceren omdat nieuwe input en nieuwe productieprocessen vaak ook nieuwe restgassen produceren die niet altijd op de site zelf klimaatneutraal verwerkt kunnen worden?



7. In hoeverre wil Nederland haar strategische geografische positie met bijbehorende doorvoerfunctie naar het achterland blijven uitnuttigen in een getransformeerd Europa? En welke impact heeft dit op het beleid om beschikbaarheid van niet-fossiele grondstoffen te vergroten?
8. Welke randvoorwaarden zijn nodig om voor Nederlandse industrieën binnen Europa een gelijk speelveld te creëren?
9. Zou leven binnen de planetaire grenzen het uitgangspunt voor 2050 moeten zijn i.p.v. klimaatneutraliteit?

## 6. Tot slot

De uitkomsten van de analyses tonen een energiesysteem en een industrieel complex dat technisch realiseerbaar zou kunnen zijn binnen de gestelde randvoorwaarden. De grote vraag is of dit ook de uitkomst is die we willen als Nederland. Er zijn veel keuzes te maken. Vraagt een leven binnen de grenzen van de planeet wellicht om een simpeler leven? Een leven waarin we anders consumeren en waarin een kledingstuk wordt gedragen totdat het niet meer functioneel is? Een leven waarin ons voedingspatroon beter aansluit bij de grond die we tot onze beschikking hebben? Of tot welke prijs zijn we bereid onze huidige levensstijl te behouden?

Willen we enkel scope 1 en 2 uitstoot binnen Nederland naar nul brengen en vinden we scope 3 uitstoot buiten de nationale grens acceptabel?

ISPT, QuoMare en Kalavasta hopen dat we ondanks de korte tijd die we hebben gekregen voor deze denkoefening het PES Expert Team hebben kunnen inspireren in haar zoektocht naar een Outlook 2050 voor het Nederlandse energiesysteem.