

# INVESTNL

## VAN KETEN NAAR KRINGLOOP

Transitieagenda voor de Nederlandse koolstofchemie

Januari 2026

In opdracht van  
Invest-NL

Lange Voorhout 45,  
2514 EC 's-Gravenhage

[info@eqilibrium.com](mailto:info@eqilibrium.com)  
[www.eqilibrium.com](http://www.eqilibrium.com)

**Eqo**Librium

## Inleiding door Invest-NL

Nederland heeft de ambitie om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren, zoals vastgelegd in het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE)<sup>1</sup> en de *Circular Economy Act*<sup>2</sup>. Voor de chemische sector betekent dit een fundamentele transitie: het merendeel van de huidige grondstofstromen in de koolstofchemie is nog fossiel van oorsprong (petrochemie). Om de sector te verduurzamen, moeten deze fossiele koolstofbronnen worden vervangen door duurzame alternatieven, zoals recycalaat (afvalstromen), biomassa en afgevangen CO<sub>2</sub>.

Bij Invest-NL zien wij deze transitie als een randvoorwaarde voor het toekomstbestendig maken van de Nederlandse chemie en als een belangrijke kans om nieuwe, duurzame waardeketens te ontwikkelen. Daarom hebben wij deze omslag uitgebreid onderzocht<sup>3</sup>, om een goed beeld te krijgen van hoe de industrie kan bewegen van fossiel naar biobased, en welke financiële interventies daarvoor nodig zijn. Dit rapport vormt ook de basis voor de interventies die wij in deze studie verder uitwerken.

De overstap naar een circulaire en CO<sub>2</sub>-neutrale koolstofchemie is in de eerste plaats een technologische uitdaging. Nieuwe technologieën moeten niet alleen worden ontwikkeld, maar ook succesvol worden opgeschaald en opgeschaalde toepassingen moeten hun weg naar de markt vinden. In deze fase zien wij dat een gebrek aan passende financiering een van de grootste knelpunten vormt. Circulaire productieprocessen zijn op dit moment veelal duurder dan fossiel gebaseerde alternatieven, waardoor private investeerders terughoudend kunnen zijn.

Om de opschaling van duurzame initiatieven binnen de chemie mogelijk te maken, is volgens ons een combinatie nodig van stimulerend overheidsbeleid én gerichte (publieke en private) investeringen. Beleidsinstrumenten kunnen variëren van regelgeving en subsidies tot vraagcreatie via publieke inkoop. Publieke financiering met een belangrijke rol voor een investeringsinstelling als Invest-NL, is cruciaal om de financieringskloof te verkleinen, risico's te delen en private investeringen los te trekken.

Om deze rol effectief te kunnen vervullen, hebben wij inzicht nodig in het toekomstperspectief van de Nederlandse chemische sector richting 2050. Daarbij staan de volgende vragen centraal:

- Hoe kan de chemische industrie in Nederland zich ontwikkelen richting een circulaire en CO<sub>2</sub>-neutrale structuur?
- Welke technologieën en productieprocessen hebben het potentieel om daarin een sleutelrol te spelen?
- Welke randvoorwaarden, infrastructuur en investeringsbehoeften zijn nodig om deze transitie daadwerkelijk te realiseren?

Deze studie beoogt antwoord te geven op deze vragen door middel van een scenario-analyse. We verkennen welke technologische routes kunnen bijdragen aan de verduurzaming van de chemische industrie in Nederland. De resultaten bieden een onderbouwd beeld van de haalbaarheid en wenselijkheid van mogelijke investeringsrichtingen voor Invest-NL binnen de circulaire chemie, en vormen daarmee input voor onze rol als katalysator in deze transitie.

---

<sup>1</sup> Rijksoverheid (2023) [Nationaal Programma Circulaire Economie 2023 - 2030](#)

<sup>2</sup> European Commission (2025) [Circular Economy Act](#)

<sup>3</sup> Invest-NL (2024) [Transition pathway towards bio-based chemistry in the Netherlands](#)

## Inhoudsopgave

Managementsamenvatting .....	5
1. Huidige koolstofchemiesector .....	6
1.1 Huidige sectorstructuur .....	6
1.2 Alternatieve koolstofbronnen .....	7
1.3 Nederland.....	7
2. Beleid en regelgeving voor de koolstofchemie .....	8
2.1 Europees beleid.....	8
2.2 Nederlands beleid.....	9
3. Uitdagingen voor groei en verduurzaming.....	10
3.1 Internationale concurrentiepositie .....	10
3.2 Nederlandse investeringsklimaat .....	13
4. Model en scope .....	15
5. Scenario's .....	18
6. Sectorale resultaten .....	20
6.1 Productiecapaciteit.....	20
6.2 Emissiereductie .....	21
6.3 Kostenstijging.....	23
7. Technologieresultaten .....	26
7.1 Rangorde voor technologie-inzet.....	26
7.2 Productiekosten .....	28
7.3 Grondstoffenbeschikbaarheid .....	31
7.4 Beleidseffecten.....	32
7.5 Kostenverschil richting 2050 .....	34
8. Conclusie .....	35
9. Aanbevelingen en vervolgonderzoek .....	37
Appendix A: Europees beleid .....	38
Appendix B: Gemodelleerde circulaire koolstofprocessen .....	42
Appendix C: Beschikbaarheid van grondstoffen.....	44
Appendix D: Kostenprofiel van grondstoffen .....	45

## Managementsamenvatting

- **De Nederlandse koolstofchemie kan richting 2050 verduurzamen tot netto-nul uitstoot, maar de gekozen beleidsroute bepaalt of dit gepaard gaat met productiebehoud of met grootschalige koolstoflekkage;**
- **De eerste verduurzamingsstappen zijn relatief kostenefficiënt en worden vooral gerealiseerd via recycling en biograndstoffen; de laatste stappen kennen sterk oplopende marginale kosten;**
- **Op technologisch niveau bepalen de productiekosten, grondstoffenbeschikbaarheid en beleidsprikkels gezamenlijk de rangorde en opschaling van routes;**
- **In de laatste fase van de transitie worden CCS of synthetische routes noodzakelijk om verdere emissiereductie te realiseren, waarbij synthetische routes gepaard gaan met hogere kosten.**

Dit rapport analyseert de transitie van de Nederlandse koolstofchemie richting 2050 aan de hand van drie scenario's: (1) Ongewijzigd beleid, (2) Verdienvermogen en (3) Maximale circulariteit. In alle scenario's daalt de netto CO<sub>2</sub>-uitstoot naar nul in 2050 als gevolg van het Europese ETS-beleid, maar de ontwikkeling van productievolume en de daarmee samenhangende kostenstijging lopen per scenario duidelijk uiteen.

In scenario (1) Ongewijzigd beleid leidt het ongelijke speelveld ten opzichte van het buitenland tot een sterke afname van de productie, waardoor de binnenlandse uitstoot snel daalt. De bijbehorende kosten voor verduurzaming blijven relatief beperkt, maar de kans op daadwerkelijke mondiale emissiereductie is bij gelijkblijvende vraag gering. In scenario (2) Verdienvermogen en (3) Maximale circulariteit blijft een groter deel van de productie in Nederland behouden. Dit resulteert niet alleen in hogere binnenlandse emissies in de eerste decennia en een sterkere kostenstijging van chemische producten, maar ook in meer binnenlandse verduurzaming.

De technologieresultaten laten zien dat de eerste verduurzamingsstappen vooral worden bepaald door kosteneffectiviteit en grondstoffenbeschikbaarheid. Recyclingroutes en biograndstoffen behoren in alle scenario's tot de goedkoopste opties en worden maximaal ingezet zolang geschikte circulaire koolstofstromen beschikbaar zijn. Deze technologieën leveren een groot deel van de initiële emissiereductie tegen relatief lage kosten, maar lopen tegen schaalgrenzen aan naarmate deze grondstoffen schaarser worden.

Verder spelen beleidseffecten een rol in de technologische opschaling. De Packaging and Packaging Waste Regulation stimuleert rechtstreeks de opschaling van mechanische recycling, pyrolyse en solvolyse. FuelEU Maritime en ReFuelEU Aviation creëren aanvullende vraag naar duurzame brandstoffen, waardoor technologieën met een substantiële brandstoffractie hoger in de rangorde terechtkomen dan op basis van productiekosten voor basischemicaliën alleen verwacht zou worden.

Na 2040 verschuift de verdere emissiereductie op sectorniveau noodgedwongen naar dure opties: fossiele productie met CCS of synthetische routes op basis van CO<sub>2</sub> en groene waterstof. In scenario (3) Maximale circulariteit wordt volledig gekozen voor fossielvrije routes, wat leidt tot een sterke stijging van de totale systeemkosten. Dit laat zien dat niet de start van de transitie, maar vooral de laatste fase het meest complex en kostbaar is.

# 1. Huidige koolstofchemiesector

## 1.1 Huidige sectorstructuur

Anno 2025 bestaat het overgrote deel van de Nederlandse en mondiale koolstofchemie<sup>4</sup> uit petrochemische productie. De belangrijkste grondstoffen zijn afkomstig uit fossiele bronnen (voornamelijk ruwe olie en aardgas, en in mindere mate steenkool). Deze grondstoffen dienen als feedstock waarmee chemische processen worden gevoed om basischemicaliën te produceren.

Binnen de sector vormt de basischemie de eerste schakel van de waardeketen. Hierin worden ruwe grondstoffen omgezet in basischemicaliën. Dit gebeurt via verschillende productieroutes, die grofweg in drie categorieën onderverdeeld kunnen worden:

1. **Raffinage en kraken van ruwe olie:** In raffinaderijen wordt ruwe olie gedestilleerd en gescheiden in fracties. De belangrijkste grondstof voor de chemische industrie is nafta, maar ook ethaan, propaan en butaan kunnen worden gebruikt. De koolwaterstofstromen worden in stoomkrakers bij hoge temperatuur afgebroken tot kleinere moleculen. Deze basischemicaliën worden opgedeeld in vier categorieën: ethyleen (C2), propyleen (C3), C4-fractie (zoals butaan, buteen en butadieen) en aromaten (benzeen, toluen, xyleen, gezamenlijk aangeduid als BTX). De samenstelling van de invoer bepaalt de productiemix: nafta levert een breed scala aan producten op, terwijl bijvoorbeeld ethaan vooral ethyleen oplevert. In Nederland wordt voornamelijk nafta als feedstock gebruikt.
2. **Aardgasroute:** Aardgas kan via *stoomreforming* worden omgezet in synthetisch gas (syngas), een mengsel van koolmonoxide en waterstof. Synthetisch gas vormt de basis voor de productie van onder andere methanol, ammoniak en synthetische brandstoffen.
3. **Vergassing van vaste koolstofbronnen:** Synthetisch gas kan ook geproduceerd worden via vergassing, waarbij vaste koolstofbronnen zoals steenkool of biomassa de feedstock vormen. Hoewel de fossiele variant van deze route in Nederland en Europa beperkt wordt toegepast vanwege de hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot, vormt het met name in Azië nog steeds een significant onderdeel van de productie van basischemicaliën.

De basischemicaliën worden in vervolgstappen verder verwerkt tot een breed scala aan halffabricaten en eindproducten. De waardeketen na de basischemie kent verschillende specialisaties, zoals de polymeerchemie, fijnchemie en consumentenchemie. In deze subsectoren worden de basischemicaliën omgezet in complexere moleculen en materialen, zoals kunststoffen, synthetische rubber, farmaceutische producten, cosmetica, verf en bestrijdingsmiddelen.

---

<sup>4</sup> De koolstofchemie omvat alle processen en activiteiten waarin koolstof als baselement wordt omgezet in chemische producten. De koolstofchemie richt zich op de productie van zowel basis- als eindproducten die essentieel zijn voor talloze materialen, brandstoffen en consumptiegoederen.

## 1.2 Alternatieve koolstofbronnen

Anders dan in de energiesector, kan het gebruik van koolstof in de chemische sector niet worden uitgefaseerd. De koolstof is namelijk niet alleen de energiebron, maar ook het basiselement in de geproduceerde materialen en brandstoffen.

Fossiele koolstof kan op drie manieren vervangen worden door circulaire koolstofbronnen:

- Recycleert: hergebruikt koolstof uit afvalstromen met kunststof (mechanisch of chemisch gerecycled).
- Biomassa: biogene koolstof afkomstig uit plantaardige reststromen, landbouwproducten of lipiden.
- CO<sub>2</sub>: koolstof uit industriële emissies of direct uit de lucht (*Direct Air Capture*).

Afhankelijk van de koolstofbron, vereist de overgang naar een circulaire koolstofchemie technologische innovaties in de huidige infrastructuur. Ook is de beschikbaarheid, het transport en de verwerking van de circulaire koolstofbronnen relevant.

## 1.3 Nederland

De koolstofchemie levert een substantiële bijdrage aan de Nederlandse economie, met een aandeel van ruim 2% van het BBP en circa 48.000 directe arbeidsplaatsen<sup>5</sup>. Tegelijkertijd is de sector verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de nationale CO<sub>2</sub>-uitstoot. In 2024 stootte de basischemie naar schatting 16,3 Mton CO<sub>2</sub> uit en de gespecialiseerde chemie ongeveer 0,4 Mton<sup>6</sup> <sup>7</sup>. Op een totale Nederlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot van 142,6 Mton CO<sub>2</sub> in 2024, komt dit neer op bijna 12% van de nationale emissies. Dit is meer dan andere energie-intensieve sectoren als de staalindustrie (12,6 Mton) en de raffinagesector (10 Mton) in 2024 uitstootten.

Nederland is een netto-exporteur van producten uit de koolstofchemie. In 2023 was de sector goed voor circa 16% van de totale goederenexport (ongeveer EUR 67 miljard)<sup>8</sup>. Daarmee behoort de chemie tot de grootste industriële exportsectoren van Nederland. Het overgrote deel van de productie is anno 2025 nog gebaseerd op fossiele grondstoffen. De petrochemische bedrijven bevinden zich in sterk geïntegreerde productieketens, waarin grondstoffen, energie en halffabricaten continu tussen bedrijven worden uitgewisseld.

Belangrijke Nederlandse chemieclusters zijn Rotterdam-Moerdijk, Chemelot (Limburg), Noordzeekanaalgebied (Amsterdam), Zeeland/West-Brabant (Valuepark, ARRRRA-cluster) en Noord-Nederland (Chemport Europe, Emmen). Deze concentratie van chemische bedrijven is in belangrijke mate te danken aan de strategische ligging van Nederland binnen Europa. Grondstoffen en producten kunnen efficiënt worden aan- en afgevoerd via havens, water- en spoorverbindingen en pijpleidingen. Binnen de clusters zijn bedrijven sterk verbonden, zowel fysiek als economisch. Ook tussen de clusters bestaan logistieke en technologische banden, waardoor Nederland functioneert als een geïntegreerd chemisch netwerk.

---

<sup>5</sup> VNCI (2024) [Chemie in Nederland](#)

<sup>6</sup> CBS (2025) [Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied: totalen](#)

<sup>7</sup> Deze cijfers betreffen slechts de uitstoot van kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en laat andere broeikasgassen buiten beschouwing.

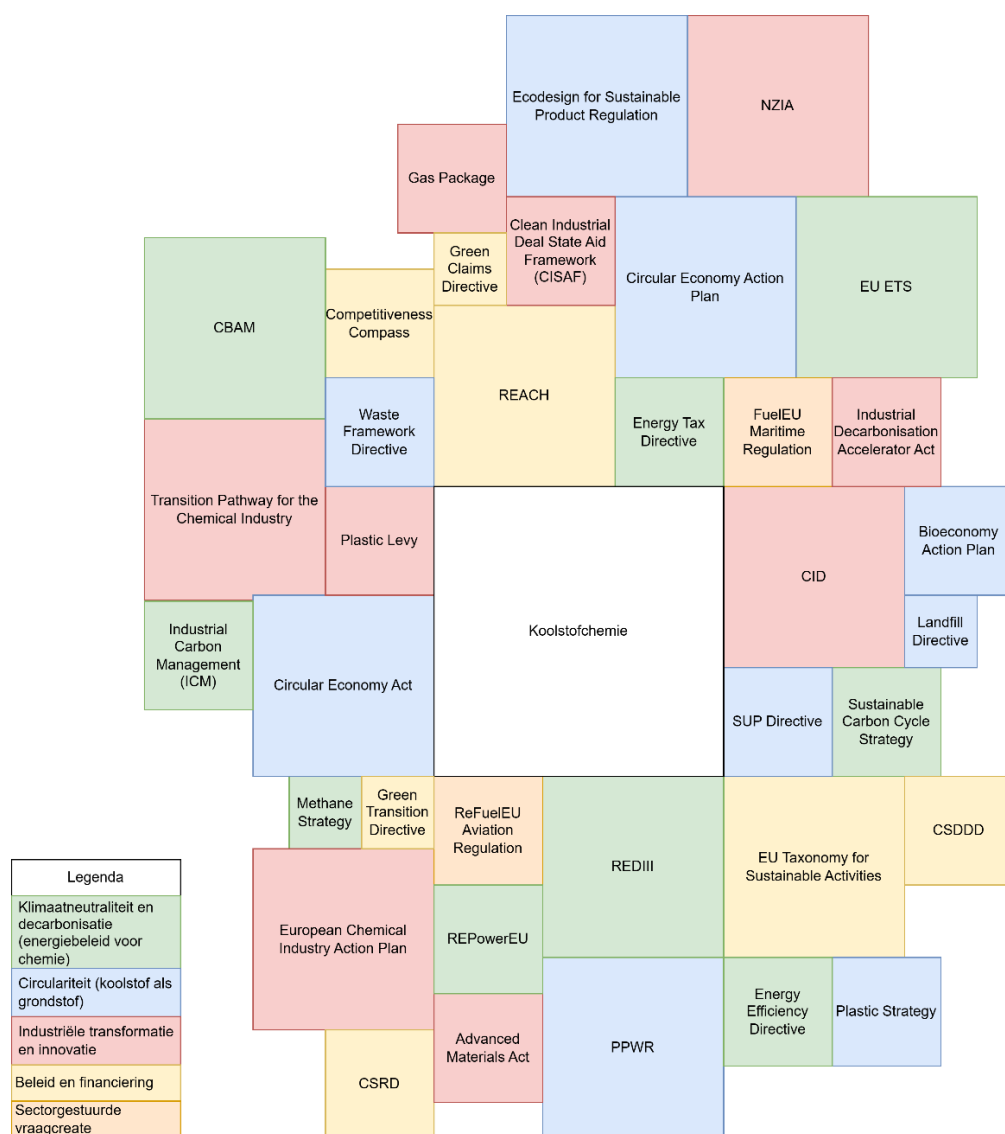
<sup>8</sup> Rijksoverheid (2025) [De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland – Expertadvies](#)

## 2. Beleid en regelgeving voor de koolstofchemie

### 2.1 Europees beleid

Een groot aantal wetten en beleidskaders heeft direct of indirect invloed op bedrijven in de koolstofchemie. Een aanzienlijk deel van dit beleid vindt zijn oorsprong in Europese richtlijnen (*directives*) en verordeningen (*regulations*), die door de lidstaten worden geïmplementeerd en gehandhaafd. Deze kaders bepalen de randvoorwaarden voor investeringen, productie en marktontwikkeling binnen de sector. Een overzicht en nadere toelichting van de relevante Europese beleidsinstrumenten is opgenomen in Appendix A: Europees beleid.

**Figuur 2.1: Europees beleid met directe of indirecte impact op de koolstofchemiesector**



Bron: EcoLibrium

In figuur 2.1 is het Europese beleidslandschap voor de koolstofchemie schematisch weergegeven. De grootte van de vlakken geeft een indicatie van de mate van relevantie voor de sector. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen beleid met een hoge (directe), middelmatige (indirecte) of lage (zeer indirecte) impact. De verschillende kleuren groeperen de beleidsinstrumenten naar beleidsdomein. Deze indeling is weergegeven in de legenda linksonder en maakt inzichtelijk via welke beleidsdoelen en -mechanismen de koolstofchemie wordt beïnvloed.

## 2.2 Nederlands beleid

Nederlandse beleid omtrent de koolstofchemie is in belangrijke mate een uitvoering van Europese richtlijnen en implementatie van verordeningen (Appendix A: Europees beleid). In dit hoofdstuk is toelichting gegeven op het nationale beleid dat los staat van Europese wetgeving, of hier een nationale aanscherping voor vormt. Hierbij is ook beleid dat recent is afgeschaft of aangepast opgenomen, zoals de nationale CO<sub>2</sub>-heffing.

### Nationale CO<sub>2</sub>-heffing

De nationale CO<sub>2</sub>-heffing beprijs uitstoot in de industrie, bovenop het EU ETS<sup>9</sup>. De nationale CO<sub>2</sub>-heffing treedt alleen in werking wanneer de gemiddelde EU ETS-prijs van het decembercontract in september en oktober lager ligt dan de heffing. Naar aanleiding van een afgelopen zomer ingediende motie die opriep tot afschaffing van de heffing, stelde het kabinet aanvankelijk voor de heffing op te schorten. Bij het aangepaste Belastingplan 2026, onderdeel van de Prinsjesdagstukken, werd duidelijk dat de opschorting van de heffing geen doorgang vindt. Het heffingstarief is voor de periode 2026-2030 vastgesteld op EUR 78,67/ton.

Bovendien is de nationale reductiefactor verruimd, wat ervoor heeft gezorgd dat de blootstelling van bedrijven kleiner is geworden. Toch kan die verruiming niet volledig voorkomen dat er kosten worden gemaakt. De gemiddelde CO<sub>2</sub>-intensiteit van de Nederlandse industrie lag in 2023 16,9% boven het EU-benchmarkniveau, dat is gebaseerd op de emissie-intensiteit van de best presterende installaties binnen de EU. De benchmarkniveaus van het EU ETS worden in 2026 verder aangescherpt, wat de blootstelling verhoogt.

### Indirecte Kosten Compensatie (IKC)

De IKC is een subsidieregeling waarmee energie-intensieve bedrijven een deel van hun hogere elektriciteitskosten door het EU ETS vergoed krijgen om concurrentienadeel en weglek van productie naar het buitenland te voorkomen. De regeling werd in 2023 afgeschaft en vervolgens eenmalig verlengd voor 2024. Als onderdeel van het Pakket voor Groene Groei werd in april 2024 besloten de IKC ook weer open te stellen in 2025, 2026 en 2027. Op Prinsjesdag 2025 verlengde het kabinet de IKC tot en met 2028.

De productgroepen van de chemische sector vormen geen onderdeel van de staatssteunregels binnen het huidige IKC. In de herziening van de staatssteunregels gaat dit naar verwachting wel opgenomen worden.

### Volume Correctie Regeling (VCR)

De VCR is een regeling die verbruikers bij afname van grote volumes elektriciteit korting gaf op de transportkosten. De regeling is per 1 januari 2024 op last van de Autoriteit Consument & Markt (ACM) afgeschaft omdat de problemen met netcongestie flexibiliteit vereisen, terwijl deze regeling juist een grote constante afname stimuleren. Het Europese Hof van Justitie bepaalde dat zulke regelingen niet in de wet mogen worden opgenomen. Waar het in Nederland nu is afgeschaft, zijn de toezichthouders in andere landen terughoudender. De financiële gevolgen voor de Nederlandse grootverbruikers van elektriciteit zijn aanzienlijk.

### Plastic heffing

De Nederlandse plastic heffing is een belasting op *virgin* polymeren, om zo plasticproductie uit recycleat aantrekkelijker te maken. De plannen voor de introductie van de heffing zijn in het Pakket voor Groene Groei teruggedraaid vanwege de oneerlijke concurrentie voor chemische bedrijven met het buitenland.

---

<sup>9</sup> EU Emission Trade System

### 3. Uitdagingen voor groei en verduurzaming

Investerings in de verduurzaming van de Nederlandse koolstofchemie komen voornamelijk beperkt van de grond. Dit komt in belangrijke mate doordat investeringen door een aantal structurele knelpunten belemmerd worden. Sommige belemmeringen gelden specifiek voor Nederlandse bedrijven, maar andere hebben betrekking op problemen waar de Europese en mondiale chemiesector ook mee te maken heeft. Daarnaast zijn een aantal knelpunten uniek voor de koolstofchemie, terwijl andere impact hebben op de energie-intensieve industrie als geheel.

#### 3.1 Internationale concurrentiepositie

De Nederlandse koolstofchemie opereert in een internationale context. De input- en outputstromen bestaan grotendeels uit homogene bulkproducten. De prijzen van deze producten worden bepaald op internationale markten, waardoor de Nederlandse industrie onderhevig is aan Europese en mondiale concurrentie. Dit betekent dat veranderingen in grondstofprijzen, energiebeleid en handelsvoorwaarden een grote invloed kunnen hebben op de concurrentiepositie van de sector.

De afgelopen jaren heeft een mondiaal overaanbod van petrochemische producten de winstgevendheid van bedrijven in deze sector onder druk gezet. Dit overaanbod is grotendeels het gevolg van een sterke capaciteitsuitbreiding, met name in China, in combinatie met een relatief beperkte groei van de wereldwijde vraag.

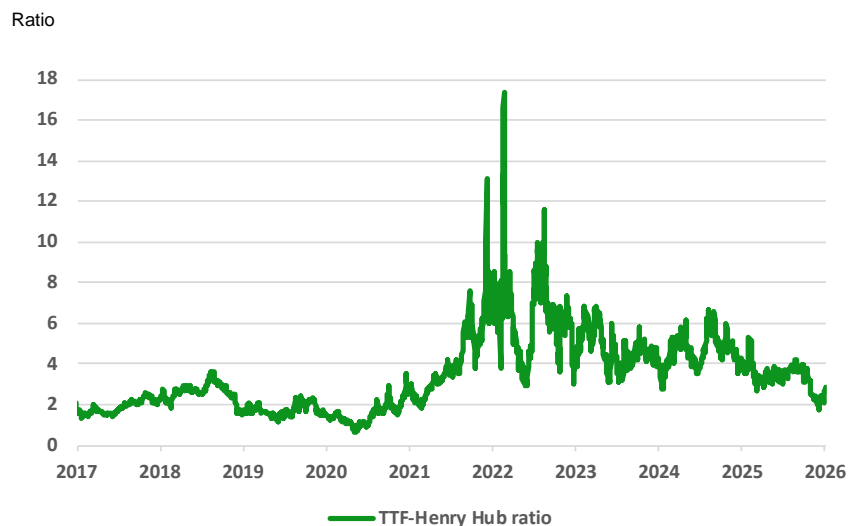
De impact van het mondiale overaanbod leidt overal ter wereld tot (tijdelijke) fabriekssluitingen, maar de gevolgen zijn in Nederland en Europa buitenproportioneel groot door de relatief hoge variabele kosten. Uit onderzoek van DNB blijkt dat drie recente kostenstijgingen in het energiedomein het vermogen van de energie-intensieve industrie in Europa onder druk heeft gezet: energiekosten, nettarieven en uitstootbelasting. De stijgende energieprijzen zijn hierbij de meest doorslaggevend geweest<sup>10</sup>.

De gasprijs ligt in Europa hoger dan in andere regio's. In de jaren voorafgaand aan de Russische inval in Oekraïne (februari 2022) was de Europese gasprijs, gemeten aan de *Title Transfer Facility* (TTF), gemiddeld twee keer zo hoog als de Amerikaanse *Henry Hub*-prijs (Figuur 3.1). Nadat de Russische gasexport via pijpleidingen grotendeels werd stopgezet, steeg de gasprijs in Europa fors. Eind 2021 en in 2022 lag deze gemiddeld circa 6,5 keer hoger dan in de VS, waarna de situatie in 2023 en 2024 iets kalmeerde en de ratio daalde tot gemiddeld circa 4,5.

---

<sup>10</sup> De Nederlandsche Bank (2025) [Competitiveness of the Dutch energy-intensive industry: energy prices, grid costs and ETS](#)

**Figuur 3.1: Ratio tussen Europese (TTF) en Amerikaanse gasprijs (Henry Hub)**



Bron: LSEG Eikon, EoLibrium

De sterk gestegen energieprijzen maken de Nederlandse chemische sector extra kwetsbaar<sup>11</sup>. Dit komt duidelijk naar voren in figuur 3.2. Tot en met 2021 loopt de bezettingsgraad van de chemische sector (gedefinieerd als de gerealiseerde productie ten opzichte van de beschikbare capaciteit) grotendeels in de pas met die van de industrie als geheel. Sinds de Russische inval van Oekraïne en de daaropvolgende energieprijsstijging is de bezettingsgraad in de chemie echter aanzienlijk sterker gedaald dan in andere industriële sectoren.

**Figuur 3.2: Bezettingsgraad chemie loopt uit de pas**



Bron: CBS, EoLibrium

<sup>11</sup> De Nederlandsche Bank (2025) [Competitiveness of the Dutch energy-intensive industry: energy prices, grid costs and ETS](#)

Dit buitenproportionele effect hangt nauw samen met het internationale en energie-intensieve karakter van de Nederlandse koolstofchemie. De sector is sterk gespecialiseerd in de productie van basischemicaliën en concurreert daarmee direct met producenten buiten de EU, waar energie- en klimaatkosten doorgaans lager liggen. De verdere verwerking tot halffabricaten en eindproducten vindt bovendien grotendeels buiten Nederland plaats. Door dit relatief hoge aandeel van grondstof- en energie-intensieve basischemie is de Nederlandse chemische sector bovengemiddeld gevoelig voor stijgende grondstof- en energieprijzen.

Door de hoge energieprijzen van de afgelopen jaren is de financiële positie van energie-intensieve bedrijven kwetsbaar geworden. Hoewel de TTF-prijs eind 2025 fors is gedaald, is het overgebleven prijsverschil met de VS structureel van aard. Europa is grotendeels afhankelijk van vloeibaar gemaakt aardgas (LNG), dat duurder is dan (Russisch) pijpleidingengas. Ook het risico op aanbodverstoringen is vergroot, met name door het wegvallen van gasleveringen uit Rusland en Groningen, waardoor toekomstige prijsstijgingen waarschijnlijker zijn geworden.

Verder zorgt de strenge milieu- en klimaatregelgeving in de EU (Appendix A: Europees beleid) voor kostenverhogingen voor Europese bedrijven. Dit biedt kansen wanneer er in Europa een afzetmarkt wordt gecreëerd voor duurzame chemische producten, bijvoorbeeld als gevolg van vraagmandaten. Zolang de focus van het Europese milieu- en klimaatbeleid op de aanbodkant ligt, vormt dit een concurrentienadeel ten opzichte van concurrenten in regio's met minder strenge milieu- en klimaatregelgeving. Ook bestaat de Europese petrochemie grotendeels uit relatief oude installaties, die minder efficiënt zijn dan de moderne faciliteiten die de afgelopen jaren in China en het Midden-Oosten zijn gebouwd.

In het verlengde hiervan zetten geopolitieke ontwikkelingen de chemische sector in Europa verder onder druk. De handelsovereenkomst tussen de EU en de VS, die op 1 september 2025 in werking trad, beïnvloedt de sector direct en indirect.

In 2024 werd 5% van de chemische productie in Nederland naar de VS geëxporteerd<sup>12</sup>. Per 1 september 2025 heeft deze export te maken met een invoertarief van 15%. Tegelijkertijd heeft de EU als onderdeel van dezelfde overeenkomst de importtarieven op Amerikaanse chemische producten afgeschaft (0%). Deze asymmetrische handelstarieven verslechteren de exportpositie van de Europese koolstofchemie.

Tot slot heeft het handelsconflict tussen de VS en China indirect negatieve gevolgen voor de Europese koolstofchemie. Door de extreem hoge invoertarieven die de VS hebben ingesteld op Chinese goederen, zoeken Chinese producenten alternatieve afzetmarkten. Dit heeft geleid tot een toename van het aantal meldingen van dumping van Chinese petrochemische producten in Europa. Dit zet Europese producenten verder onder druk.

---

<sup>12</sup> ING (2025) [Industry – Chemische industrie](#)

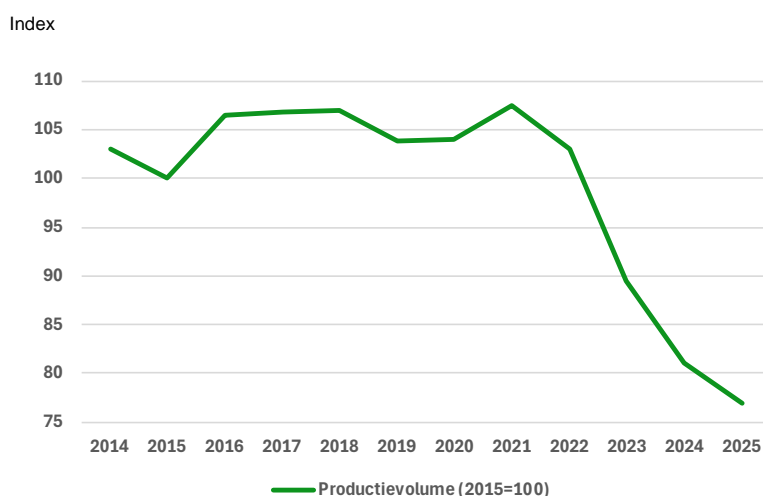
### 3.2 Nederlandse investeringsklimaat

Naast internationale factoren kampt de Nederlandse koolstofchemie met binnenlandse factoren die het investeringsklimaat voor de energie-intensieve industrie onder druk zetten:

- **Elektriciteits- en waterstofnetwerk:** De ontwikkeling van nieuwe infrastructuur, zoals de waterstofbackbone en de Delta Rhine Corridor<sup>13</sup>, lopen achter op schema. Verder vormt de beperkte beschikbaarheid van transportcapaciteit op het elektriciteitsnet een obstakel in de verduurzaming van de koolstofchemie.
- **Stikstofproblematiek:** beperkte stikstofruimte veroorzaakt uit- en afstel van industriële uitbreidingen en verduurzamingsprojecten.
- **Trage vergunningverlening:** trage en complexe vergunningverlening maakt dat verduurzamingsprojecten vertraging op lopen.
- **Einde-afvalstatus:** in Nederland is het juridisch lastig om afval als grondstof te verwerken<sup>14</sup>, waardoor het relatief vaak wordt verbrand. Dit betekent dat er minder recyclaatstromen beschikbaar komen voor de koolstofchemie.
- **Hoge nettarieven:** de gebruikerstarieven voor het elektriciteitsnet in Nederland liggen hoger dan gemiddeld in Europa. Dit resulteert in forse meerkosten voor de energie-intensieve industrie, waaronder de koolstofchemie. De nettarieven nemen in de toekomst naar verwachting alleen maar verder toe.<sup>15</sup>
- **Hoge arbeidskosten:** relatief hoge arbeidskosten en een tekort aan technisch geschoold personeel leidt tot hogere operationele kosten ten opzichte van andere landen.
- **Beperkte fysieke ruimte:** er is niet genoeg beschikbare grond.

Het gecombineerde effect van de mondiale concurrentiedruk en de nationale knelpunten blijkt uit figuur 3.3. Het totale productievolume van de Nederlandse chemische industrie lag in 2024 bijna 25% lager dan in 2021. Tegelijkertijd blijven de investeringen in de verduurzaming van de Nederlandse industrie achter. Dit terwijl het behalen van circulariteits- en klimaatdoelstellingen gepaard gaan met hoge kapitaalkosten en lange terugverdientijden.

**Figuur 3.3: Daling productievolume chemische industrie**



Bron: VNCI, EcoLibrium

<sup>13</sup> RVO (2025) [Delta Rhine Corridor](#)

<sup>14</sup> VNO-NCW (2025) [White paper einde-afvalstatus](#)

<sup>15</sup> Rijksoverheid (2025) [Schakelen naar de toekomst: IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur](#)

Veel chemiebedrijven in Nederland zijn onderdeel van internationale concerns, met hun hoofdkantoor in het buitenland. Investeringsbeslissingen worden hierdoor genomen op mondiale schaal. Wanneer de economische condities gunstiger zijn in andere regio's, kiezen bedrijven mogelijk uitbreidings- of verduurzamingsinvesteringen elders. De belemmeringen voor investeren in Nederland staan hierbij tegenover de factoren die Nederland aantrekkelijk maken als vestigingsplaats voor de koolstofchemie:

- **Goed ontwikkelde infrastructuur:** De haveninfrastructuur en de kwaliteit van de (binnenvaart)wegen maken Nederland een aantrekkelijke vestigingsplaats voor de koolstofchemie. Verder is in Nederland sprake van een sterke energie-infrastructuur, met name voor aardgas. De mogelijkheid om dit netwerk geschikt te maken voor het transport van waterstof en de potentie van de Noordzee als bron van duurzame elektriciteit en voor CO<sub>2</sub>-opslag, maakt Nederland ook in de toekomst een aantrekkelijke vestigingsplaats.
- **Strategisch gunstige geografische ligging:** De ligging aan zee faciliteert de import van goederen en grondstoffen. Daarnaast is Nederland strategisch gelegen ten opzichte van het Europese achterland, waar zich een grote afzetmarkt bevindt voor producten uit de (basis)industrie.
- **Ruime subsidiëring:** Tegenover streng klimaatbeleid staat in Nederland ruime subsidiëring, met name de SDE++ (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie). Dit is een stimuleringsmaatregel die bedrijven compenseert voor de onrendabele top van investeringen in duurzame energieproductie en CO<sub>2</sub>-reductie.
- **Hoogwaardig onderwijs:** De kwaliteit van het onderwijs in Nederland maakt dat er sprake is van een goed opgeleide bevolking. Verder dragen onderzoeksinstituten bij aan R&D ontwikkelingen in de koolstofchemie.

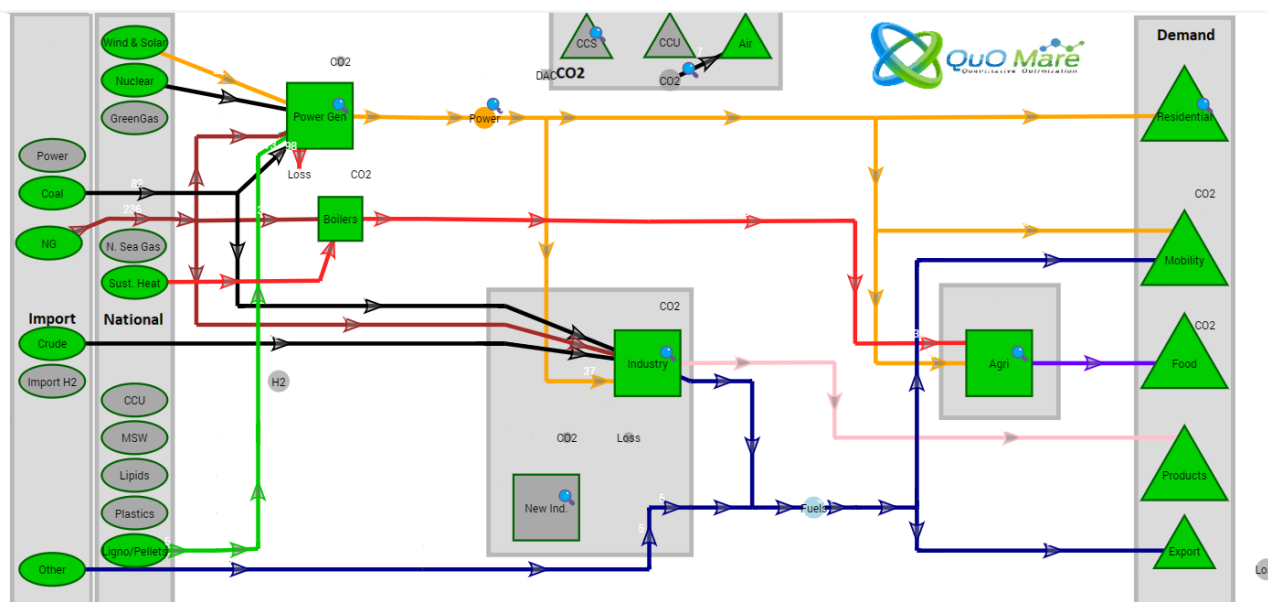
Al met al heeft Nederland nog steeds goede bouwstenen voor een positief investeringsklimaat voor de koolstofchemie. Op deze manier biedt de huidige infrastructuur, de geografische ligging, ruime subsidiëring en de goed opgeleide bevolking veel potentie voor de opbouw van een circulaire koolstofchemie in Nederland.

## 4. Model en scope

### TDES-model

Voor de kwantitatieve analyse is gebruikgemaakt van het TDES-model (Transition of Dutch Energy System<sup>16</sup>) van QuoMare (figuur 4.1). Dit is een techno-economisch optimalisatiemodel dat het volledige Nederlandse energiesysteem omvat, inclusief alle relevante sectoren en hun onderlinge afhankelijkheden.

**Figuur 4.1: Vereenvoudigde weergave van de uitgangssituatie in het TDES-model**



Bron: EcoLibrium

Het TDES-model rekent vanuit een vaste jaarlijkse vraag naar producten en diensten<sup>17</sup>. Deze vraagcomponenten zijn weergegeven aan de rechterzijde van figuur 4.1. Op basis hiervan bepaalt het model de techno-economische optimale configuratie om jaarlijks aan deze vraag te voldoen, gegeven de beschikbare grondstoffen aan de linkerzijde en de conversieroutes in het midden van de schematische weergave.

Het model houdt rekening met relevante economische en beleidsmatige factoren, waaronder wet- en regelgeving, investeringsmomenten, CAPEX en OPEX. Daarnaast is een brede set randvoorwaarden opgenomen, zoals de beschikbaarheid van infrastructuur, de toegang tot biograndstoffen en recyclaatstromen en de kaders die voortvloeien uit bestaand en toekomstig beleid. Hoewel actoren in het model handelen op basis van economische efficiëntie, worden hun keuzes begrensd door deze randvoorwaarden.

In deze studie wordt het TDES-model ingezet om inzicht te krijgen in de investeringen en randvoorwaarden die nodig zijn om de Nederlandse koolstofchemie te transformeren naar een duurzaam en circulair systeem. Aan de hand van drie scenario's worden mogelijke ontwikkelpaden richting 2050 verkend. De scenario's verschillen voornamelijk in het gevoerde beleidskader, een nadere toelichting hierop volgt in het volgende hoofdstuk.

<sup>16</sup> Van Schijndel et al. (2024). [TDES: Transformation of the Dutch Energy System](#)

<sup>17</sup> Er wordt aangenomen dat vraagvolumes naar producten (zoals staal, chemicaliën en kunstmest) en diensten (zoals aantal afgelegde kilometers) constant blijven in de tijd. Ook het achterland zal in de toekomst vergelijkbare hoeveelheden energie uit Nederland importeren (de energiedragers zullen wel veranderen).

De modelresultaten geven inzicht in zowel de omvang als de samenstelling van de Nederlandse koolstofchemiesector in 2050. Daarnaast laten zij zien welke technologieën binnen de gesimuleerde randvoorwaarden de grootste potentie hebben voor opschaling en implementatie.

### **Scope van de analyse**

De analyse van de koolstofchemie binnen het TDES-model richt zich op de belangrijkste drijfveren en randvoorwaarden voor de transitie naar een duurzame sector. Hierbij staan grondstoffenbeschikbaarheid, infrastructuur en beleidsontwikkelingen centraal.

Het detailniveau van de modellering is zodanig gekozen dat uitsluitend technologieën worden geanalyseerd en vergeleken die gericht zijn op de productie van basischemicaliën. De basischemicaliën zijn opgedeeld in ethyleen, propyleen, C4-fractie en BTX. Voor deze basischemicaliën worden zowel de fossiele als de duurzame productieroutes gemodelleerd. Dit maakt het mogelijk om de kostenstructuur en het verdienmodel van verschillende technologieën onder uiteenlopende beleidsvarianten (scenario's) te vergelijken.

Deze scopekeuze impliceert dat productieroutes verder in de waardeketen, zoals productie van specifieke eindproducten niet afzonderlijk zijn geanalyseerd. De winstgevendheid van deze eindproducten hangt echter sterk samen met die van de gemodelleerde routes in de basischemie. Bovendien is het aannemelijk dat variaties in specifieke technologieën ondergeschikt zijn aan de bredere trends die in de modelresultaten zichtbaar worden.

Door deze benadering biedt het TDES-model de mogelijkheid om de brede impact van randvoorwaarden, zoals overheidsbeleid, infrastructuur en grondstofstromen, op de transitie van de koolstofchemie te analyseren. Een meer gedetailleerde analyse van specifieke downstream technologieën of eindproducten zou ten koste gaan van deze integrale benadering.

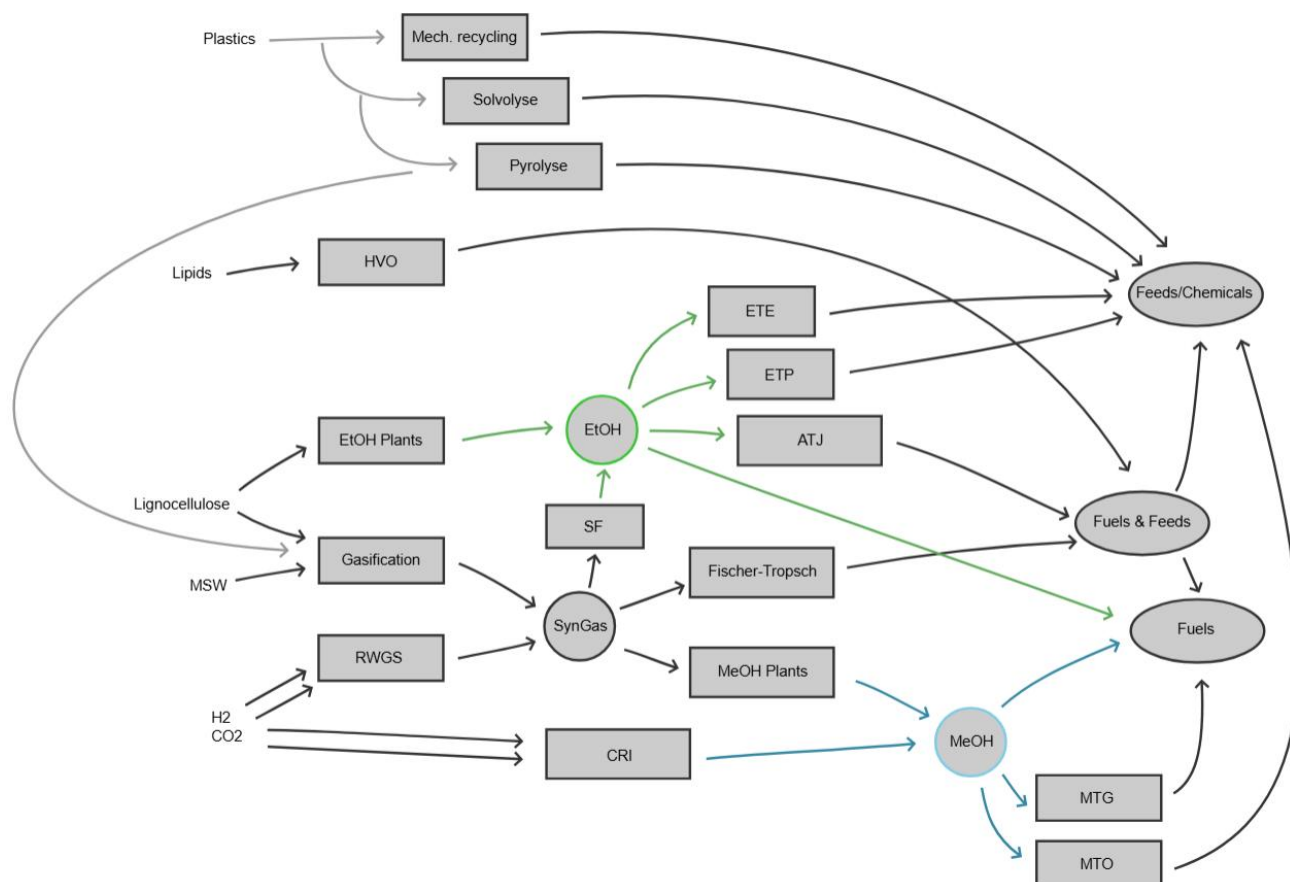
### **Gemodelleerde technologieën en koolstofketen**

Bij de selectie van de duurzame en circulaire technologieën die in het TDES-model zijn opgenomen, is onder andere gekeken naar het *Technology Readiness Level* (TRL), de verwachte commerciële haalbaarheid op middellange termijn, de potentiële bijdrage aan de reductie van fossiel koolstofgebruik en de relevantie voor de Nederlandse chemische sector. Een compleet overzicht van de gemodelleerde technologieën en processen is te vinden in Appendix B: Gemodelleerde circulaire koolstofprocessen.

Hoewel de processen in appendix B afzonderlijk zijn beschreven, functioneren veel van deze technologieën in werkelijkheid als onderdeel van een geïntegreerde waardeketen. Bepaalde processen leveren tussenproducten die vervolgens via andere processen omgezet worden in transportbrandstoffen (fuels) of chemische grondstoffen (feeds/chemicals). De modellering in het TDES-model houdt rekening met deze samenhang tussen technologieën.

Deze relaties en proceskoppelingen zijn opgenomen in figuur 4.2. De routes die gebruikmaken van ethanol zijn groen weergegeven, terwijl routes op basis van methanol blauw gekleurd zijn.

**Figuur 4.2: Vereenvoudigde weergave van de koolstofketen in het TDES-model**



Bron: EqoLibrium

### Grondstoffenbeschikbaarheid en kosten

De beschikbaarheid van de gebruikte grondstoffen is uiteengezet in Appendix C: Beschikbaarheid van grondstoffen. Voor elke grondstof is de beschikbaarheid in 2020, 2030 en 2050 in het model opgenomen, inclusief onderscheid tussen fossiele en duurzame varianten en tussen binnenlandse productie en import.

Fossiele koolstofbronnen zoals olie, gas en steenkool blijven in het model ruim beschikbaar. Voor groene waterstof geldt dat deze richting 2050 in principe voldoende beschikbaar is, maar dat grootschalige productie en import pas na circa 2035 op gang kan komen. Een belangrijke randvoorwaarde voor de ontwikkeling van de circulaire koolstofchemie is de beperkte nationale beschikbaarheid van circulaire koolstofbronnen, zoals lignocellulose, lipiden en plastic afvalstromen.

Het kostenprofiel van de grondstoffen is opgenomen in Appendix D: Kostenprofiel van grondstoffen. Hieruit blijkt onder meer de structurele meerprijs van synthetische brandstoffen ten opzichte van biogene alternatieven, evenals de blijvende betaalbaarheid van fossiele brandstoffen. Daarnaast spelen de relatief lage kosten van biogene circulaire koolstofbronnen en de aanhoudend hogere kosten van groene waterstof (ten opzichte van grijze en blauwe waterstof) een belangrijke rol in de ontwikkeling van de koolstofchemie.

## 5. Scenario's

Om inzicht te verkrijgen in de mogelijke ontwikkelingspaden voor de Nederlandse koolstofchemie richting 2050 zijn drie scenario's opgesteld. De scenario's verschillen voornamelijk in het gevoerde beleidskader. Het gebruik van meerdere beleidsrichtingen in de scenarioanalyse is essentieel. Enerzijds vanwege de grote onzekerheid over het toekomstige nationale en Europese beleid, anderzijds omdat overheidsbeleid een doorslaggevende factor is in het uiteindelijke transitie van de sector.

In tabel 5.1 is een schematisch overzicht van de belangrijkste overeenkomsten en verschillen opgenomen. Dit biedt de mogelijkheid om de scenario's in één oogopslag met elkaar te vergelijken en dient als referentiepunt bij de interpretatie van de scenarioresultaten.

### Scenario (1) Ongewijzigd beleid (business as usual)

In dit scenario wordt uitgegaan van voortzetting van het huidige nationale en Europese beleid, zonder aanvullende maatregelen gericht op het behoud van productiecapaciteit of versnelde verduurzaming van de sector. De EU-ETS verplichting leidt er in dit scenario toe dat de netto uitstoot in 2050 nul bedraagt.

Gezien de hogere Nederlandse kosten ten opzichte van andere landen, betekent ongewijzigd beleid dat de Nederlandse koolstofchemie opereert onder relatief ongunstige internationale concurrentieverhoudingen. Daarmee kan het scenario inzicht bieden in de risico's van een ongelijk speelveld, zoals de mogelijke verplaatsing van productie naar regio's met minder strenge klimaatmaatregelen (weglekeffecten).

Dit scenario laat zo zien welke economische en klimaat gerelateerde effecten kunnen ontstaan wanneer de bestaande beleidsstructuur wordt voortgezet. Daarmee vormt het een belangrijke referentiepunt voor vergelijking met de andere scenario's.

### Scenario (2) Verdienvermogen (netto-nul met een gelijk speelveld)

In dit scenario is de beleidsdoelstelling expliciet gericht op het realiseren van een economie met netto nul uitstoot in 2050, in combinatie met het behoud van een concurrerende Nederlandse industrie. Fossiele brandstoffen en inputstromen blijven toegestaan, mits de bijbehorende emissies volledig worden gecompenseerd.

Import van duurzame of fossiele grondstoffen blijft mogelijk en wordt niet gemaximaliseerd, zolang dit past binnen de netto-nul doelstelling. Aangezien het behoud van de Nederlandse industrie gedurende de energie- en grondstoffentransitie een belangrijk onderscheidende aanneme is, is dit scenario "Verdienvermogen" gedoopt.

### Scenario (3) Maximale circulariteit (fossielvrije circulariteit)

In dit scenario staat de ambitie centraal om te komen tot een volledig fossielvrije en circulaire economie in 2050, en gaat hiermee nadrukkelijk verder dan een netto-nul doelstelling. Import van fossiele grondstoffen en producten wordt geminimaliseerd om te voorkomen dat binnenlandse consumptie alsnog fossiel wordt ingevuld. Dit sluit aan bij beleidsdoelen rond strategische autonomie en het behoud van binnenlandse productiecapaciteit.

Financiële beperkingen spelen in dit scenario geen rol: investeringsbeslissingen worden niet begrensd door kapitaalkosten of winstgevendheid, maar uitsluitend door technische en fysieke randvoorwaarden. Daardoor kan het TDES-model de maximale theoretische opschaling van duurzame technologieën en productieprocessen laten zien, los van kosten- of winstgevendheidsoverwegingen.

Tabel 5.1: Schematische overzicht van de scenario's

	Scenario1 Ongewijzigd beleid	Scenario 2 Verdienvermogen	Scenario 3 Maximale circulariteit
<b>Beleidskader</b>	Huidig NL/EU-beleid; nationale CO <sub>2</sub> -heffing; beperkte CBAM	Gelijk speelveld; CO <sub>2</sub> - heffing weg; uitgebreide CBAM	Gelijk speelveld + nationale circulariteitsambitie
<b>Doelstelling 2050</b>	Netto-nul uitstoot	Netto-nul uitstoot	Fossielvrij en circulair
<b>Fossiele input</b>	Toegestaan	Toegestaan met compensatie (CCS)	Uitgefaseerd
<b>Internationaal speelveld</b>	Ongelijk; kostennadeel NL	Gelijk; versterkte concurrentiepositie	Binnenlandse strategische autonomie
<b>Economische benadering</b>	Marktgedreven; kostenminimalisatie	Kosteneffectieve verduurzaming	Maximale verduurzaming

## 6. Sectorale resultaten

De resultaten laten zien hoe de Nederlandse koolstofchemie zich ontwikkelt richting 2030, 2040 en 2050 in drie beleidsmatige scenario's. Daarbij wordt vergeleken met het referentiejaar 2020. De scenario's worden op sectorniveau geanalyseerd op basis van drie indicatoren:

1. Productiecapaciteit
2. Emissiereductie
3. Kostenstijgingen

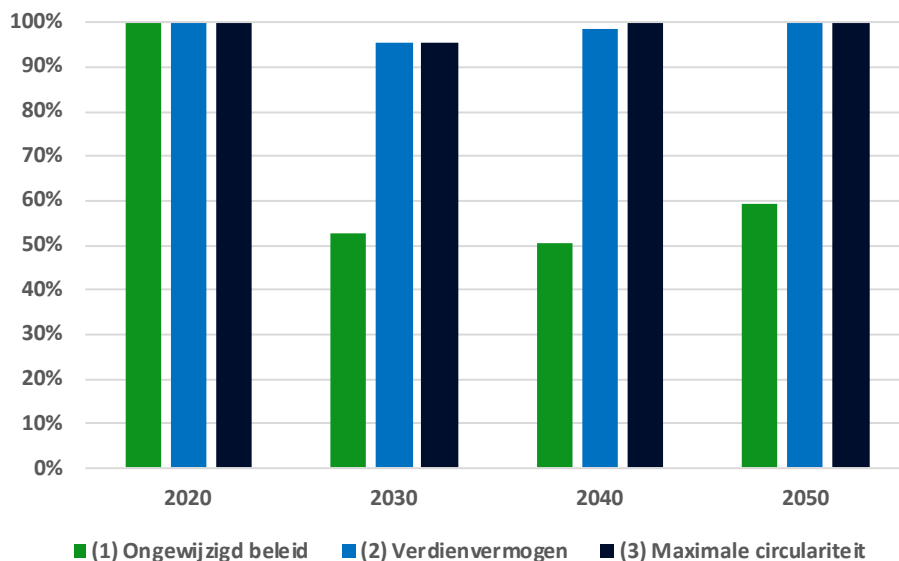
Gezamenlijk creëren deze resultaten inzicht in het toekomstperspectief van de koolstofchemiesector in Nederland.

### 6.1 Productiecapaciteit

Figuur 6.1 toont de ontwikkeling van de totale productiecapaciteit van de Nederlandse koolstofchemie tot 2050, uitgedrukt als percentage van het niveau in 2020 (9,7 Mton basischemicaliën per jaar). Het jaar 2020 is daarbij genormaliseerd op 100%. Voor de jaren 2030, 2040 en 2050 laat de figuur zien hoe de productiecapaciteit zich in elk scenario ontwikkelt ten opzichte van dit referentiejaar.

**Figuur 6.1: Productiecapaciteit Nederlandse koolstofchemie**

% ten opzichte van 2020



Bron: EcoLibrium

De modelresultaten laten duidelijke verschillen zien tussen de scenario's:

- In scenario (1) *Ongewijzigd beleid* neemt de productiecapaciteit de komende decennia sterk af. In 2030 ligt de productiecapaciteit naar verwachting op 52% van het niveau van 2020. In 2040 daalt dit verder naar circa 50%. In het laatste decennium is sprake van een beperkt herstel, waardoor de capaciteit in 2050 uitkomt op ongeveer 59% van het 2020-niveau.

Deze structurele krimp wordt vooral veroorzaakt door toenemende internationale concurrentie, het ontbreken van een uitgebreide CBAM voor halffabricaten en basischemicaliën en onvoldoende

vraagcreatie voor circulaire chemische producten. Het gevolg is verplaatsing van productie naar het buitenland.

- In scenario (2) *Verdienvermogen* blijft een aanzienlijk groter deel van de productiecapaciteit behouden. Richting 2030 is sprake van een beperkte afname van circa 4% ten opzichte van 2020. Vanaf 2030 volgt herstel, waardoor de productiecapaciteit in 2040 uitkomt op ongeveer 98% van het 2020-niveau. In 2050 is het productieniveau volledig hersteld tot circa 100%.

Dit laat zien dat gericht en samenhangend beleid een basis kan bieden voor het behoud van productiecapaciteit in Nederland, terwijl tegelijkertijd wordt ingezet op verduurzaming.

- Ook in scenario (3) *Maximale circulariteit* is sprake van een tijdelijke daling van de productiecapaciteit in de eerste decennia. In 2030 ligt de capaciteit naar verwachting op circa 96% van het niveau van 2020. In de daaropvolgende decennia herstelt de productiecapaciteit volledig, waardoor het productieniveau in 2040 en 2050 weer rond het niveau van 2020 ligt.

Deze tijdelijke dip hangt samen met hoge aanloopkosten en de leercurve bij de introductie van nieuwe circulaire technologieën. Pas wanneer schaalvoordelen en beleidsimpulsen effect gaan hebben, kan de volledige huidige capaciteit op een duurzame manier ingevuld worden.

Uit de modelresultaten blijkt dat het behoud van de Nederlandse koolstofchemie sterk afhankelijk is van aanvullend beleid. Twee beleidscomponenten zijn daarbij cruciaal:

- Een CBAM dat beperkt blijft tot primaire producten leidt tot een concurrentienadeel en productieverhuizing, terwijl het mechanisme juist geïntroduceerd is om een gelijk speelveld te creëren en weglekrisico's tegen te gaan. De CBAM-regeling geldt in eerste instantie alleen voor ijzer en staal, meststoffen, cement, aluminium, elektriciteit en waterstof. In december 2025 heeft de EC een conceptvoorstel gedaan om CBAM uit te breiden naar verschillende downstreamproducten, met name goederen waarin veel staal of aluminium is verwerkt. Het conceptvoorstel heeft beperkte impact op de koolstofchemie, waarmee verdere uitbreiding van CBAM naar basischemicaliën noodzakelijk blijft om op de Europese afzetmarkt een gelijk speelveld te creëren en koolstoflekage te voorkomen.
- Vraagcreatie is essentieel voor investeringen in duurzame productiecapaciteit. Instrumenten zoals de *Packaging & Packaging Waste Regulation (PPWR)*, *FuelEU Maritime* en *RePowerEU Aviation* zorgen voor afzet zekerheid en maken circulaire productieroutes economisch aantrekkelijker. Via welke technologieën en routes deze vraagmandaten doorwerken in extra productiecapaciteit, wordt nader toegelicht in hoofdstuk 7.4 Beleidseffecten.

Samen laten deze resultaten zien dat productiebehoud geen vanzelfsprekendheid is, maar met gericht beleid wel degelijk haalbaar blijft.

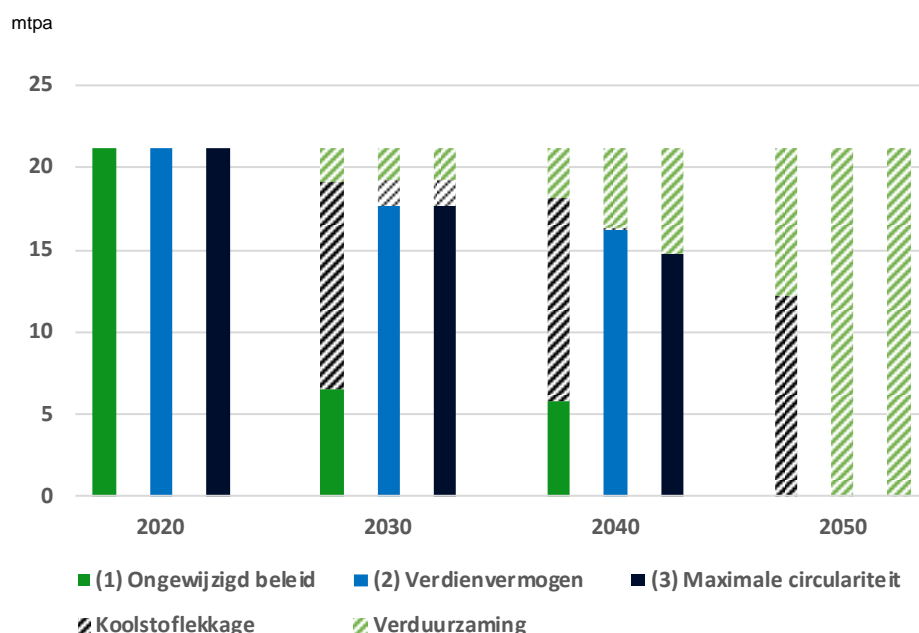
## 6.2 Emissiereductie

Figuur 6.2 toont de ontwikkeling van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van de Nederlandse koolstofchemie tot 2050. Het uitstootniveau van 2020 vormt opnieuw het referentiepunt en bedraagt in alle scenario's 21,2 miljoen ton CO<sub>2</sub> per jaar (mtpa). De totale broeikasgasuitstoot van het Nederlandse energiesysteem daalt in alle scenario's richting netto-nul in 2050 als gevolg van het bestaande EU ETS-beleid. Dit geldt ook voor de koolstofchemie, waardoor de netto CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 in alle scenario uitkomt op 0 mtpa.

Cruciaal is echter op welke manier deze emissiereductie tot stand komt. De modelresultaten maken onderscheid tussen emissiereductie als gevolg van verduurzaming van de binnenlandse productie en reductie

als gevolg van productieverplaatsing naar het buitenland (koolstoflekkage). Tussen de scenario's bestaan hierin grote verschillen.

**Figuur 6.2: Uitstoot Nederlandse koolstofchemie**



Bron: EcoLibrium

De emissiepaden per scenario laten de volgende verschillen zien:

- In scenario (1) *Ongewijzigd beleid* dalen de CO<sub>2</sub>-emissies snel tot circa 6,6 mtpa in 2030 en 5,8 mtpa in 2040. Deze sterke afname wordt echter grotendeels veroorzaakt door het wegvallen van productiecapaciteit in Nederland. In 2030 is 12,5 mtpa van de emissiereductie het gevolg van koolstoflekkage, terwijl slechts 2,1 mtpa wordt gerealiseerd door verduurzaming van de resterende productie.

Ook richting 2040 blijft het grootste deel van de emissiereductie het gevolg van productiekrimp. In 2050 resteert geen netto uitstoot meer, maar dit is bereikt doordat circa 12,2 mtpa aan emissies is weggelekt door productieverplaatsing en 9,0 mtpa door binnenlandse verduurzaming, met name via CCS<sup>18</sup>. Hierdoor is circa 58% van de emissiereductie het gevolg van weglek, tegenover 42% door verduurzaming. Dit scenario laat zien dat snelle binnenlandse emissiereductie mogelijk is zonder aanvullend beleid, maar vooral ten koste van productie in Nederland.

- In scenario (2) *Verdienvermogen* blijft een groter deel van de productiecapaciteit in Nederland behouden. Hierdoor ligt de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 17,7 mtpa in 2030 en 16,3 mtpa in 2040 aanzienlijk hoger dan in Ongewijzigd beleid. Deze hogere emissies zijn direct het gevolg van het beperken van productieverplaatsing.

<sup>18</sup> Er wordt aangenomen dat CCS in Nederland beschikbaar is vanaf 2027 en jaarlijks lineair toeneemt tot 22,5 Mton in 2035. Daarnaast is er ruim 11 Mton aan CO<sub>2</sub>-opslag beschikbaar in het buitenland. Na 2035 komt er jaarlijks 5 Mton extra CO<sub>2</sub>-opslag beschikbaar.

In 2030 is circa 42% van de emissiereductie het gevolg van weglek en 58% van verduurzaming. Richting 2040 neemt de koolstoflekkage af en is nagenoeg de volledige uitstootreductie het resultaat van verduurzaming van de binnenlandse productie. Als gevolg van de EU ETS-verplichting is richting 2050 snel meer binnenlandse emissiereductie nodig, wat leidt tot grootschalige inzet van CCS. In 2050 is de volledige emissiereductie (21,2 mtpa) gerealiseerd door verduurzaming binnen Nederland, zonder productiekrimp.

- In scenario (3) *Maximale circulariteit* wordt emissiereductie met name bewerkstelligd door de fossiele koolstofinput geleidelijk te vervangen door biograndstoffen, recycleert en synthetische koolstofroutes. Hierdoor nemen de CO<sub>2</sub>-emissies af tot 17,7 mtpa in 2030, vergelijkbaar met het Verdienvermogenscenario. Ook hier is in 2030 circa 58% van de emissiereductie het gevolg van verduurzaming en 42% van productieverplaatsing.

Richting 2040 neemt de emissie-intensiteit verder af tot circa 14,8 mtpa, waarbij verduurzaming vrijwel de volledige reductie voor haar rekening neemt. In 2050 is de netto CO<sub>2</sub>-uitstoot nul. In tegenstelling tot de andere scenario's wordt dit bereikt zonder fossiele grondstoffen in de koolstofchemie. De volledige emissiereductie wordt gerealiseerd via circulaire koolstofbronnen en synthetische routes.

De resultaten laten zien dat een snelle binnenlandse CO<sub>2</sub>-reductie ook zonder aanvullend beleid mogelijk is, maar dat dit grotendeels het gevolg is van productiekrimp en koolstoflekkage. Bij gelijkblijvende vraag leidt dit naar alle waarschijnlijkheid niet tot mondiale emissiereductie en ondermijnt het verdienvermogen van de Nederlandse chemiesector.

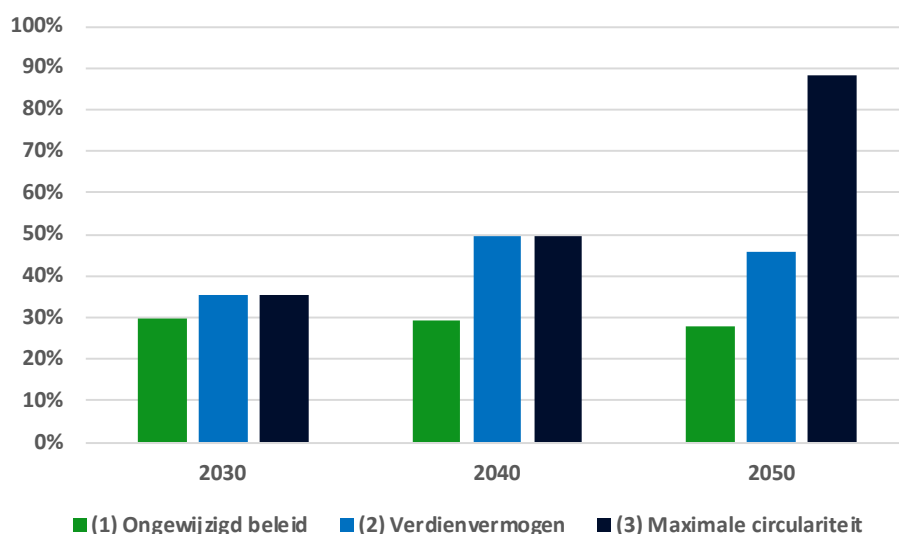
Met gericht en samenhangend beleid kan emissiereductie daarentegen gecombineerd worden met productiebehoud. In dat geval verschuift de emissiereductie van weglek naar daadwerkelijke verduurzaming van de binnenlandse productie. Afhankelijk van het gekozen scenario gebeurt dit via grootschalige toepassing van CCS (Verdienvermogen) of via een vergaande omschakeling naar circulaire koolstofbronnen (Maximale circulariteit). In alle scenario's vindt het grootste deel van de daadwerkelijke emissiereductie plaats in het laatste decennium richting 2050.

### 6.3 Kostenstijging

Beleid dat is gericht op het behoud en de verduurzaming van de Nederlandse koolstofchemie leidt onvermijdelijk tot hogere productiekosten, met name wanneer naast klimaatneutrale productie ook een hoge mate van circulariteit wordt nagestreefd. Aangezien aangenomen wordt dat de vraag naar chemische eindproducten stabiel is, vertalen hogere productiekosten zich direct door in de prijs van chemische producten.

Figuur 6.3 toont de gemiddelde kostenstijging van chemische producten per scenario in de jaren 2030, 2040 en 2050. De weergegeven percentages geven de relatieve prijsstijging weer ten opzichte van het referentiejaar 2020.

**Figuur 6.3: Kostenstijging chemische producten (ten opzichte van 2020)**



Bron: EcoLibrium

De ontwikkeling van de kosten verschilt duidelijk per scenario:

- Scenario (1) *Ongewijzigd beleid* laat de laagste kostenstijging zien. Dit komt doordat een aanzienlijk deel van de productiecapaciteit verschuift naar regio's met lagere energie- en klimaatkosten. In 2030 ligt de gemiddelde meerprijs van chemische producten in dit scenario op 30% ten opzichte van 2020. Richting 2040 en 2050 neemt deze meerprijs licht af tot respectievelijk 29% en 28%.

Dat er überhaupt sprake is van een significante prijsstijging is met name het gevolg van een toename van transportkosten die bij de import van producten komt kijken. Daarnaast hangt het samen met de fossiele productie die in Nederland behouden blijft. Deze productie wordt geconfronteerd met de stijgende systeemkosten in Nederland en de kosten voor het toepassen van CCS. In dit scenario lopen deze meerkosten voor het Nederlandse energiesysteem op van EUR 19,3 miljard per jaar in 2030 tot EUR 27,5 miljard in 2040 en EUR 44 miljard in 2050 ten opzichte van 2020, wat ook doorwerkt in de prijzen van chemische producten.

- In scenario (2) *Verdienvermogen* blijven grotere delen van de productiecapaciteit in Nederland behouden en worden deze verduurzaamd. Hierdoor ligt de kostenstijging structureel hoger dan in Ongewijzigd beleid. In 2030 bedraagt de gemiddelde meerprijs van chemische producten 35% ten opzichte van 2020. Deze loopt op tot 50% in 2040, waarna de kostenstijging in 2050 licht afneemt tot 46%.

De tijdelijke piek rond 2040 hangt samen met de versnelling van investeringen in duurzame productietechnologieën en CCS-infrastructuur, de ontwikkeling van recyclinginfrastructuur en EU-vraagmandaten (zie hoofdstuk 7.4 Beleidseffecten)

- Scenario (3) *Maximale circulariteit* kent in 2030 en 2040 een kostenontwikkeling die grotendeels vergelijkbaar is met die van scenario (2) Verdienvermogen. Tot circa 2040 leunen beide scenario's op

vergelijkbare technologieën en routes, met name op basis van biomassa en recyclelaat. Richting 2050 loopt de kostenstijging echter sterk op tot 88% boven het niveau van 2020.

Deze sterke toename is het directe gevolg van het streven naar volledige circulariteit. De resterende emissies moeten in dit scenario in toenemende mate worden gereduceerd via energie-intensieve synthetische routes, terwijl in de andere scenario's kan worden teruggevallen op de relatief goedkope inzet van CCS.

De modelresultaten laten zien dat de kosten pas boven een bepaalde circulariteitsdrempel disproportioneel toenemen. Deze drempel wordt bereikt wanneer de beschikbaarheid van biogrondstoffen en recyclelaatstromen maximaal is benut en verdere emissiereductie alleen nog mogelijk is via synthetische routes met hoge energie- en grondstofkosten (met name groene waterstof en afgevangen CO<sub>2</sub>). De onderliggende mechanismen achter deze kostenstijging zijn in detail uitgewerkt in hoofdstuk 7. Technologieresultaten, waar inzicht wordt gegeven in de technologie-inzet per scenario.

## 7. Technologieresultaten

De sectorale resultaten geven inzicht in hoe de Nederlandse koolstofchemie zich per scenario ontwikkelt in termen van productiecapaciteit, emissiereductie en kosten. Daarmee ontstaat een globaal beeld van het toekomstige bestaansrecht en de verduurzaming van de sector. Om te begrijpen welke investeringen en randvoorwaarden deze ontwikkeling sturen, is het noodzakelijk om in te zoomen op de concrete inzet van technologieën.

Op basis van de TDES-modelresultaten ontstaat een duidelijke rangorde (*merit order*) tussen duurzame productieroutes. Deze rangorde bepaalt in welke volgorde technologieën worden opgeschaald en is in alle scenario's richtinggevend voor de uiteindelijke technologie-inzet. Drie factoren zijn hierbij doorslaggevend: productiekosten, grondstoffenbeschikbaarheid en beleidseffecten.

Dit hoofdstuk start met het afleiden van een algemene rangorde op basis van de gemodelleerde technologie-inzet per scenario in 2050. Vervolgens worden de drie bepalende factoren afzonderlijk geanalyseerd en wordt toegelicht hoe deze de rangorde beïnvloeden.

### 7.1 Rangorde voor technologie-inzet

Tabel 7.1 toont de inzet van circulaire productieroutes per scenario in 2050, uitgedrukt in productiecapaciteit van koolwaterstoffen (in mtpa). Deze inzet geeft een concreet beeld van de samenstelling van de Nederlandse circulaire koolstofproductie in 2050 en vormt de basis voor het afleiden van de technologische rangorde.

**Tabel 7.1: Technologie-inzet per scenario in 2050 (productiecapaciteit van koolwaterstoffen in mtpa)<sup>19</sup>**

	<b>Scenario 1</b>	<b>Scenario 2</b>	<b>Scenario 3</b>
	<b>Ongewijzigd beleid</b>	<b>Verdienvermogen</b>	<b>Maximale circulariteit</b>
<b>Mechanische recycling</b>	3,4	3,4	3,4
<b>Pyrolyse</b>	1,4	2,0	2,0
<b>Solvolyse</b>	0,7	0,9	0,9
<b>Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)</b>	5,0	5,0	5,0
<b>Fischer Tropsch (FT)-MSW<sup>20</sup></b>	0,3	0,3	0,8
<b>FT-biomassa</b>	0,4	0,4	1,0
<b>Alcohol-to-Jet (ATJ)</b>	0,5	0,5	0,0
<b>Ethanol-to-Ethylene (ETE)</b>	0,0	0,0	0,6
<b>FT-synthetisch</b>	0,0	0,1	6,6
<b>Oxidative coupling of methane (OCM)</b>	0,0	0,6	0,0
<b>Methanol-to-Olefines (MTO)</b>	0,0	0,0	0,2

<sup>19</sup> Beschrijving circulaire koolstofprocessen en technologieën: Appendix B: Gemodelleerde circulaire koolstofprocessen

<sup>20</sup> Municipal Solid Waste

Uit tabel 7.1 valt een aantal patronen op, die kunnen worden doorvertaald naar een algemeen geldende rangorde.

Ten eerste blijkt dat in alle scenario's maximaal wordt ingezet op de recyclingroutes, waarbij sprake is van een duidelijke cascadering. Mechanische recycling wordt in elk scenario volledig benut (3,4 mtpa) en vormt daarmee de eerste en meest kostenefficiënte stap in de rangorde. De plasticafvalstromen die niet geschikt zijn voor mechanische recycling worden vervolgens ingezet in pyrolyse- en solvolyse-processen. In scenario (2) Verdienvermogen en (3) Maximale circulariteit worden deze routes maximaal opgeschaald (respectievelijk 2,0 en 0,9 mtpa), terwijl de inzet in Ongewijzigd beleid lager ligt als gevolg van de grotere import van fossiele basischemicaliën. De consistente en relatief hoge inzet van mechanische recycling, gevolgd door pyrolyse en solvolyse, bevestigt de positie van de recyclingroutes in de rangorde.

Direct onder deze recyclingroutes volgt de inzet van vetachtige biomassaroutes, met name HVO. In alle scenario's wordt HVO maximaal benut (5,0 mtpa), waarbij de opschaling uitsluitend wordt beperkt door de beschikbaarheid van lipiden. Hoewel HVO qua inzet vergelijkbaar is met mechanische recycling, staat deze route lager in de rangorde omdat de productiekosten hoger liggen dan die van mechanische recycling en de daarop volgende chemische recyclingroutes (hoofdstuk 7.2 Productiekosten). Het feit dat HVO in elk scenario volledig wordt benut wijst desalniettemin op een hoge kosteneffectiviteit en beleidsrelevantie van deze route binnen de circulaire koolstofchemie, vandaar de hoge positie in de rangorde.

Ten derde laat de inzet van Fischer-Tropsch (FT) op basis van MSW en biomassa zien dat deze routes in alle scenario's een rol spelen, maar pas in scenario (3) Maximale circulariteit maximaal worden benut. In het derde scenario worden FT-MSW en FT-biomassa opgeschaald tot respectievelijk 0,8 mtpa en 1,0 mtpa, begrensd door de maximale beschikbaarheid van huishoudelijk afval en lignocellulose. In scenario 1 en 2 blijft de inzet beperkter, omdat de noodzaak tot binnenlandse circulaire productie daar kleiner is.

Het feit dat pyrolyse en solvolyse in scenario 2 wel volledig worden benut en FT-MSW en FT-biomassa niet, duidt op een hogere relatieve aantrekkelijkheid van recyclingroutes ten opzichte van biogene syngasroutes. Dit vertaalt zich in een hogere plaats in de rangorde.

Ten vierde blijkt dat de synthetische FT-route (op basis van CO<sub>2</sub> en groene waterstof) in scenario 3 cruciaal is voor het realiseren van maximale circulariteit. Hoewel deze route in scenario 1 en 2 nauwelijks wordt ingezet, groeit de capaciteit in scenario 3 tot 6,6 mtpa. Dit betekent dat synthetische FT pas wordt opgeschaald wanneer schaarse biogene en recyclebare koolstofbronnen volledig zijn benut en beleid een hoog circulariteitsniveau afdwingt. Doordat deze synthetische route niet in elke scenario opgeschaald wordt maar wel van cruciaal belang is in het Maximale circulariteitsscenario, neemt de technologie een middenpositie in de rangorde in.

Ten vijfde worden alcoholroutes op basis van bio-ethanol beperkt ingezet. ATJ speelt in scenario 1 en 2 nog een bescheiden rol (0,5 mtpa), maar verdwijnt volledig in scenario 3. Dit weerspiegelt de toenemende concurrentie om biogene koolstofbronnen bij maximale circulariteit (7.3 Grondstoffenbeschikbaarheid) en legt bloot hoe EU-beleid omtrent duurzame transportbrandstoffen de rangorde kan beïnvloeden (7.4 Beleidseffecten). ETE op basis van bio-ethanol wordt alleen in scenario 3 ingezet (0,6 mtpa) en neemt daarmee een lagere positie in de rangorde in.

Ten zesde blijken bio-methanolroutes (MTO) slechts een marginale rol te spelen (0,2 mtpa in scenario 3). Dit wijst op een beperkte concurrentiekracht ten opzichte van andere biogene en synthetische routes. Daarnaast heeft bio-methanol toepassingen buiten de koolstofchemie waar het wellicht effectiever ingezet kan worden, bijvoorbeeld als scheepvaartbrandstof.

Tot slot zijn de molecuulspecifieke synthetische routes op basis van synthetische ethanol (ETE en ETP) wel gemodelleerd, maar worden zij in geen enkel scenario substantieel ingezet. Deze routes staan daarom onderaan in de rangorde.

Het OCM-proces kent in scenario 2 een beperkte inzet (0,6 mtpa), maar is niet opgenomen in de algemene rangorde. Dit proces benut methaanreststromen uit bestaande fossiele processen en vertegenwoordigt daarmee geen zelfstandige circulaire productieroute van basischemicaliën richting 2050.

### Afgeleide technologische rangorde

Op basis van deze analyse ontstaat de volgende rangorde voor de circulaire koolstofchemie (figuur 7.1):

#### Figuur 7.1: Technologierangorde voor de circulaire koolstofchemie

##### 1. Recyclingroutes

Recycelaatstromen	→	Mechanische recycling
	→	Pyrolyse
	→	Solvolyse
	→	Vergassing van reststromen

##### 2. Vetachtige biomassaroutes

Lipiden	→	Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)
---------	---	----------------------------------

##### 3. Biogene syngas-routes

MSW	→	FT-MSW
Houtige biomassa	→	FT-biomassa

##### 4. Synthetische syngas-routes

CO <sub>2</sub> + groene H <sub>2</sub>	→	FT-synthetisch
---	---	----------------

##### 5. Alcoholroutes op basis van bio-ethanol

Bio-ethanol	→	ATJ
	→	ETE

##### 6. Biogene routes op basis van bio-methanol

Bio-methanol	→	MTO
--------------	---	-----

##### 7. Molecuul-specifieke synthetische routes

CO <sub>2</sub> + groene H <sub>2</sub>	→	synthetische ethanol	→	ETE
			→	ETP

Samenvattend laten de modelresultaten zien dat routes op basis van recycelaat en biogroundstoffen in alle scenario's als eerste en maximaal worden benut. Synthetische routes worden pas grootschalig ingezet wanneer deze schaarse bronnen volledig zijn benut of wanneer beleid maximale circulariteit afdwingt, zoals in het scenario Maximale circulariteit.

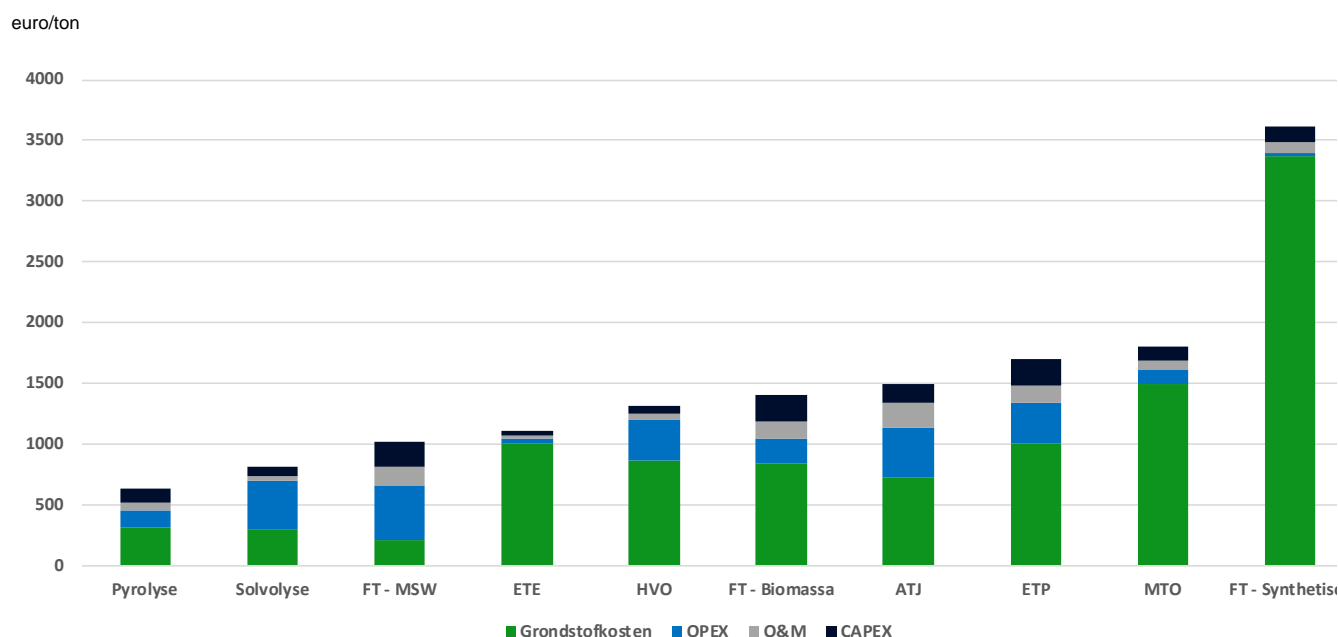
In de rest van dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe productiekosten, grondstoffenbeschikbaarheid en beleidseffecten gezamenlijk leiden tot deze rangorde en hoe zij de technologie-inzet per scenario sturen.

## 7.2 Productiekosten

Figuur 7.2 toont de productiekosten per technologie wanneer uitsluitend wordt gekeken naar de productie van basischemicaliën: ethyleen (C2), propyleen (C3), de C4-fractie en aromaten (BTX). De kosten zijn uitgesplitst in

vier componenten: grondstofkosten, operationele kosten (OPEX), onderhoudskosten (O&M) en kapitaalkosten (CAPEX).

**Figuur 7.2: Productiekosten basischemicaliën (op volgorde van oplopende kosten)**



Bron: EcoLibrium

Voor de meeste technologieën vormen de grondstofkosten het grootste deel van de totale productiekosten per ton basischemicaliën. Dit geldt in het bijzonder voor synthetische routes, waar de hoge kostprijs van groene waterstof een dominante factor is. Technologieën met relatief lage grondstofkosten maken veelal gebruik van reststromen, zoals plastic afval (mechanische recycling, pyrolyse en solvolyse) en huishoudelijk afval (FT – MSW). Bij deze processen bestaat een groter deel van de totale kosten uit OPEX.

De relatief hoge OPEX van solvolyse komt voort uit de aanzienlijke warmtevraag en de kosten van oplosmiddelen. Voor FT-MSW bestaan de operationele kosten met name uit het afvalscheidingsproces en de benodigde zuurstof voor de vergassing van het huishoudelijke afval. Bij ATJ zijn de OPEX met name het gevolg van de voorbehandeling en conversie van biomassa. Voor HVO bestaan de operationele kosten vooral uit warmtevoorziening (stoom) en waterzuivering. Naast operationele en grondstofkosten zijn per technologie ook kosten meegenomen voor onderhoud die nodig is om installaties operationeel te houden en de kapitaalinvesteringen. Deze maken een relatief klein deel uit van de totale kostprijs.

Mechanische recycling is niet opgenomen in figuur 7.2, hoewel deze technologie wel onderdeel is van de rangorde in figuur 7.1. De reden hiervoor is dat mechanische recycling direct leidt tot eindproducten, terwijl figuur 7.2 uitsluitend de productiekosten van basischemicaliën weergeeft. Een indicatieve kostprijs voor mechanische recycling is EUR 450/ton basischemicaliën<sup>21</sup>. Hoewel deze benadering nadrukkelijk indicatief is,

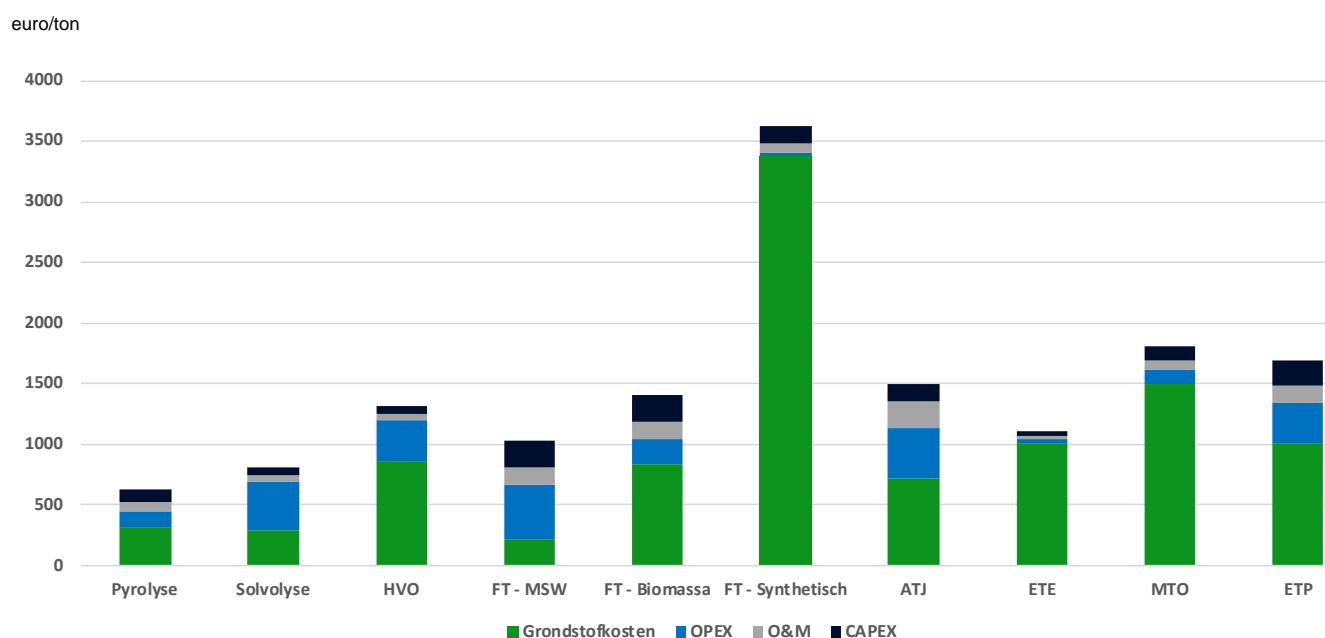
<sup>21</sup> Hierbij zijn de productiekosten van mechanische recycling (per ton eindproduct) ter vergelijking omgerekend naar een kostprijs per ton basischemicaliën, ondanks het feit dat basischemicaliën geen rol spelen in het proces. De omrekening is gebaseerd op het gemiddelde aandeel van de totale kosten (per ton eindproduct) dat normaliter toegerekend kan worden aan de basischemicaliën. Dit is grofweg 30%, al hangt de exacte verhouding sterk af van het type proces, product en de marktomstandigheden.

laat het zien dat mechanische recycling veruit de meest kostenefficiënte route is binnen de circulaire koolstofchemie. Dit verklaart de positie van mechanische recycling bovenaan de technologierangorde.

De productiekosten in figuur 7.2 vormen een belangrijke basis voor de technologische rangorde. In algemene zin geldt dat technologieën met lagere productiekosten sneller worden opgeschaald. Dit verklaart waarom recyclingroutes op basis van plasticafval (mechanische recycling, pyrolyse en solvolyse) hoog in de rangorde eindigen. Ook wordt inzichtelijk waarom binnen de Fischer-Tropsch-routes eerst huishoudelijk afval (MSW) als input wordt ingezet, gevolgd door houtige biomassa en pas later synthetische grondstoffen. Daarnaast laat figuur 7.2 zien dat biogene alcoholroutes op basis van ethanol (ATJ en ETE) kosteneffectiever zijn dan routes op basis van methanol (MTO).

Toch komt de volgorde in figuur 7.2 niet volledig overeen met de rangorde zoals gepresenteerd in figuur 7.1. Om dit verschil te verduidelijken is in figuur 7.3 dezelfde kostengrafiek weergegeven, maar nu geordend volgens de uiteindelijke rangorde uit de modelresultaten.

**Figuur 7.3: Productiekosten basischemicaliën (geordend volgens de rangorde)**



Bron: EqoLibrium

Hieruit blijkt dat sommige technologieën hoger of lager in de rangorde eindigen dan op basis van productiekosten alleen verwacht zou worden. Zo neemt het synthetische FT-proces een relatief hoge positie in, ondanks de aanzienlijke kosten die ermee gepaard gaan. Ook HVO eindigt hoger in de rangorde dan de productiekosten van basischemicaliën doen vermoeden, aangezien deze route duurder is dan FT-MSW. Omgekeerd wordt het ETE-proces op basis van bio-ethanol later opgeschaald dan sommige technologieën met hogere productiekosten.

Deze afwijkingen benadrukken dat productiekosten slechts één van de bepalende factoren zijn voor technologie-inzet. De uiteindelijke rangorde wordt mede gevormd door de beschikbaarheid en concurrentie van grondstoffen (7.3 Grondstoffenbeschikbaarheid) en door beleidseffecten die vraag creëren naar specifieke producten en routes (7.4 Beleidseffecten).

## 7.3 Grondstoffenbeschikbaarheid

### 1. Biomassa

De beschikbaarheid van grondstoffen vormt een cruciale randvoorwaarde voor de opschaling van circulaire productieroutes. Biomassa kent uiteenlopende toepassingsmogelijkheden, waardoor er zowel binnen als buiten de chemische sector sprake is van grondstoffencompetitie. In het publieke debat bestaat consensus dat de toepassing geprioriteerd moet worden aan de hand van de hoogste toegevoegde waarde<sup>22 23 24</sup>.

Hoewel de beschikbaarheid van biograndstoffen richting 2050 toeneemt, blijft deze per definitie beperkt. De beschikbare hoeveelheid lipiden groeit van circa 2,4 Mton in 2020 naar 4 Mton in 2030 en circa 6 Mton in 2050. Voor lignocellulose wordt richting 2050 een beschikbaarheid van ongeveer 3 Mton verwacht, oplopend vanaf 1,5 Mton in 2020 en 2 Mton in 2030. Deze volumes zijn afkomstig uit een combinatie van binnenlandse productie en import. De beperkte beschikbaarheid van deze biogene koolstofbronnen vormt een duidelijk bovengrens voor de opschaling van technologieën die hiervan afhankelijk zijn.

De druk wordt verder vergroot doordat meerdere conversieroutes om dezelfde biograndstoffen concurreren. FT-biomassa, ATJ, ETE, MTO en ETP maken allemaal gebruik van lignocellulose of daarvan afgeleide producten. Hierdoor wordt de gezamenlijke inzet van deze technologieën begrensd door de beschikbare hoeveelheid lignocellulose. Binnen deze categorie wordt de cascadering van technologieën vervolgens bepaald door de productiekosten (hoofdstuk 7.2 Productiekosten) en de mate waarin beleid vraag creëert naar specifieke eindproducten (hoofdstuk 7.4 Beleidseffecten).

Voor lipiden is de grondstoffencompetitie binnen de chemische sector aanzienlijk kleiner. HVO is de enige technologie die in het model op grote schaal gebruikmaakt van lipiden, zoals gebruikt frituurvet en dierlijke vetten. Doordat andere chemische routes nauwelijks concurreren om deze grondstof, kan HVO relatief ver worden opgeschaald binnen de beschikbare lipidenhoeveelheid. Deze beperkte feedstockcompetitie verklaart waarom HVO in de rangorde hoger eindigt dan op basis van productiekosten voor basischemicaliën alleen verwacht zou worden. Zo staat HVO hierdoor hoger in de rangorde dan FT-MSW en FT-biomassa (figuur 7.1).

### 2. Recycelaat

Ook recycelaatstromen zijn eindig en vormen daarmee een beperkende factor voor de inzet van recyclingtechnologieën. In 2050 is naar verwachting circa 4 Mton aan plasticafval beschikbaar, oplopend vanaf 0 Mton in 2020 en 1,3 Mton in 2030. Mechanische recycling, pyrolyse en solvolyse concurreren om deze afvalstromen. Binnen deze begrensde beschikbaarheid bepalen zowel de productiekosten als de kwaliteit van het recycelaat welke technologieën het eerst en het meest worden opgeschaald.

Voor huishoudelijk afval geldt dat de beschikbare hoeveelheid toeneemt van 0 Mton in 2020 naar circa 0,5 Mton in 2030 en 1,5 Mton in 2050. Binnen de koolstofchemie kan deze stroom uitsluitend via het FT-proces worden opgewerkt, waardoor de grondstoffencompetitie beperkt is. In combinatie met de relatief lage productiekosten resulteert dit in een hoge positie van FT-MSW in de rangorde.

<sup>22</sup> RVO (2025) [Beleid voor het gebruik van biograndstoffen](#)

<sup>23</sup> PBL (2024) [Beschikbaarheid biograndstoffen in Nederland en de Europese Unie](#)

<sup>24</sup> SER (2020) [Biomassa in balans: Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen](#)

## 7.4 Beleidseffecten

Beleid vormt de derde belangrijke factor voor de technologische rangorde. In tegenstelling tot de productiekosten en de grondstoffenbeschikbaarheid, speelt binnen het beleid de vraagzijde van de markt een bepalende rol. Door het vastleggen van wettelijke verplichtingen creëert beleid gegarandeerde afzet voor specifieke producten, wat investeringszekerheid biedt en de opschaling van bepaalde technologieën versnelt.

De modelresultaten laten zien dat met name drie Europese verordeningen een substantiële invloed hebben op de ontwikkeling van technologieën binnen de Nederlandse circulaire koolstofchemie: de *Packaging and Packaging Waste Regulation* (PPWR) en het Europese transportbeleid, vastgelegd in *FuelEU Maritime* en *ReFuelEU Aviation*.

### 1. Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR)

De PPWR stelt oplopende minimale recycclaatverplichtingen vast voor plastic verpakkingen. Voor PET-verpakkingen geldt een verplicht aandeel van 30% in 2030 en 50% in 2040. Voor verpakkingen van andere kunststoffen moeten producenten 10% gerecyclede inhoud in 2030 en 25% in 2040 toepassen. Single-use plastic en drankflessen moeten bestaan uit 30% gerecyclede inhoud in 2030 en 65% in 2040. Voor alle overige plastic verpakkingen geldt een verplichte gerecyclede-inhoud van 35% in 2030 oplopend tot 65% in 2040.

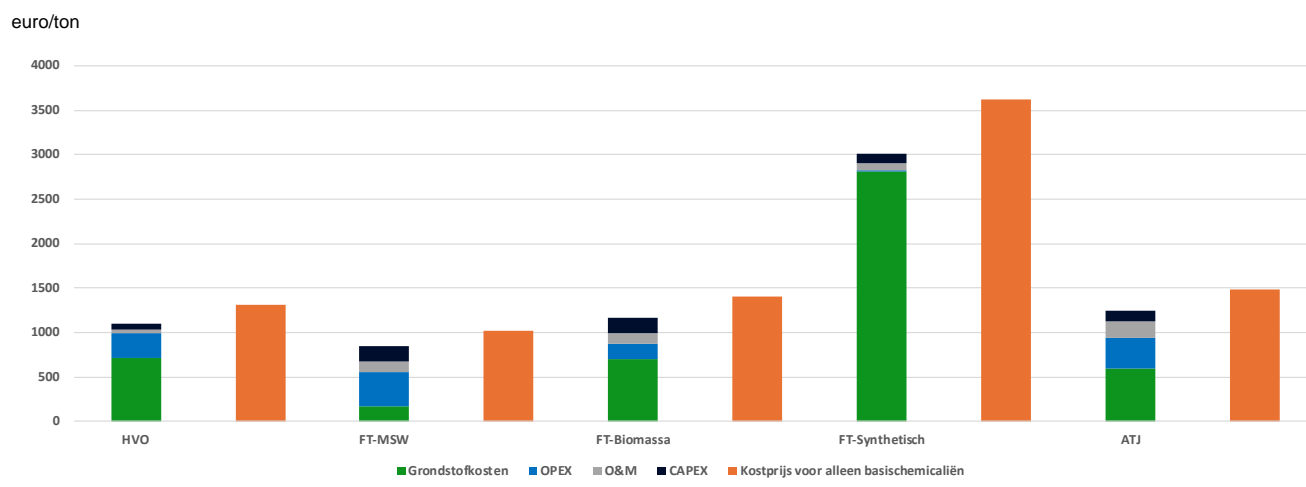
Deze wettelijke vraagmandaten leiden in het model tot een versnelde opschaling van recyclingtechnologieën. Mechanische recycling wordt als eerste benut, gevolgd door pyrolyse en solvolyse voor afvalstromen die niet geschikt zijn voor hoogwaardige mechanische verwerking. Omdat de PPWR al geïmplementeerd is, draagt dit beleid in alle scenario's bij aan de opschaling van recyclingroutes. Dit verklaart de positie bovenaan de technologische rangorde.

### 2. EU-transportbeleid: FuelEU Maritime en ReFuelEU Aviation

In figuren 7.2 en 7.3 zijn de productiekosten van technologieën weergegeven op basis van de kosten per ton basischemicaliën. Een aantal processen produceert echter naast chemische grondstoffen ook een substantiële hoeveelheid transportbrandstoffen. Voor deze technologieën zit een belangrijk deel van de economische waarde in de brandstoffractie. Zo produceert ATJ voornamelijk *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), is HVO primair gericht op biodiesel, en levert het Fischer-Tropsch-proces (FT) een mix van vloeibare brandstoffen en chemische fracties, afhankelijk van de gebruikte grondstof.

Figuur 7.4 (volgende bladzijde) corrigeert hiervoor door voor deze hybride processen twee kostenniveaus naast elkaar te tonen. Per technologie is links de effectieve productiekosten per ton basischemicaliën weergegeven waarbij rekening is gehouden met de opbrengsten uit de geproduceerde transportbrandstoffen. Rechts (oranje staven) zijn de oorspronkelijke kosten per ton basischemicaliën te zien, zoals weergegeven in figuren 7.2 en 7.3 (waarin de brandstoffractie buiten beschouwing bleef).

Figuur 7.4 laat zien dat het meenemen van de brandstoffractie leidt tot een verlaging van de effectieve kosten per ton chemicaliën. Daardoor sluiten de berekende kosten van HVO, FT en ATJ beter aan bij hun inzet in het model en de technologische rangorde.

**Figuur 7.4: Productiekosten basischemicaliën en transportbrandstoffen**

Bron: EcoLibrium

Het effect van de brandstoffractie op de ontwikkeling van de circulaire koolstofchemie wordt verder versterkt door Europese vraagmandaten voor duurzame transportbrandstoffen. FuelEU Maritime bevat een verplichte uitstootreductie voor de maritieme sector die geleidelijk wordt aangescherpt, van 2% reductie in 2025 tot 80% reductie in 2050 (ten opzichte van 2020). Aangezien biodiesel geschikt is als duurzame brandstof voor de scheepvaart, draagt HVO direct bij aan het voldoen aan deze verplichting, wat leidt tot verdere opschaling van deze route.

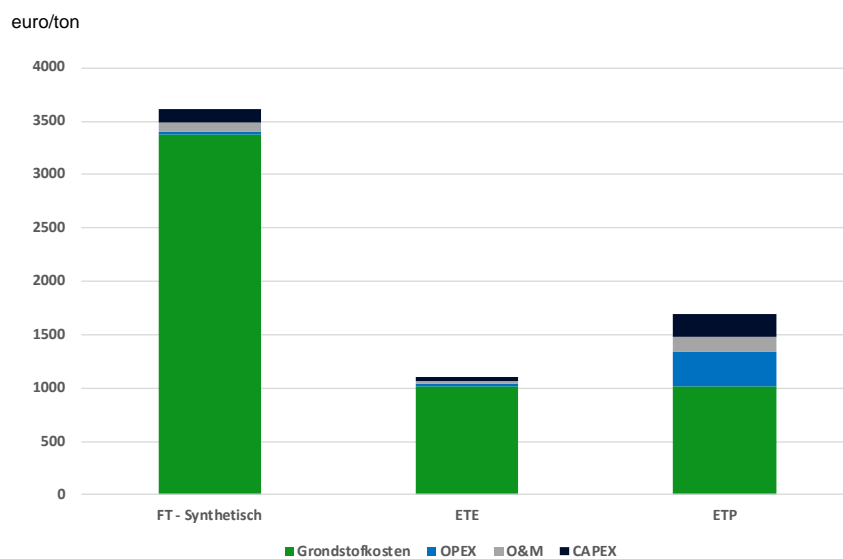
ReFuelEU Aviation verplicht de luchtvaartsector om vanaf 2025 minimaal 2% van alle vliegtuigbrandstof op EU-luchthavens te laten bestaan uit (SAF), oplopend naar 6% in 2030, 20% in 2035, 34% in 2040, 42% in 2045 en 70% in 2050. Dit resulteert in het model in een sterk toenemende vraag naar SAF. ATJ en FT-processen worden hierdoor opgeschaald, primair vanwege hun brandstoffractie en niet vanwege hun bijdrage aan de productie van chemische grondstoffen.

Als gevolg van de beleidsmatige vraagcreatie eindigen ATJ, HVO en FT hoger in de rangorde dan op basis van de productiekosten voor basischemicaliën alleen verwacht zou worden. Dit verklaart waarom brandstof producerende routes een belangrijke plaats innemen in de circulaire koolstofchemie.

### Synthetische routes

Voor het invullen van de huidige Europese vraagmandaten kan in eerste instantie grotendeels gebruik worden gemaakt van recyclaat en biograndstoffen. Op termijn is deze inzet echter onvoldoende door de beperkte beschikbaarheid van deze koolstofbronnen. In scenario's waarin beleid een hoge mate van circulariteit afdwingt, verschuift de resterende vraag naar synthetische routes op basis van CO<sub>2</sub> en groene waterstof.

Binnen deze categorie nemen verschillende technologieën uiteenlopende posities in de rangorde in. De modelresultaten laten zien dat synthetische syngas-routes, met name FT-synthetisch, hoger worden ingeschaald dan molecuul-specifieke routes zoals synthetische ETE en ETP. In het Maximale circulariteit-scenario wordt synthetische FT in 2050 opgeschaald tot 8,4 mtpa, terwijl synthetische ETE- en ETP-routes geen rol van betekenis spelen.

**Figuur 7.5: ETE en ETP lager in de rangorde dan FT-synthetisch**

Bron: EcoLibrium

Dit is opmerkelijk, aangezien synthetische FT aanzienlijk hogere productiekosten kent (figuur 7.5). De verklaring ligt opnieuw in het EU-transportbeleid. ReFuelEU Aviation bevat namelijk een oplopende verplichting voor synthetisch SAF (e-SAF<sup>25</sup>): 1,2% in 2030, 5% in 2035, en 35% in 2050. Synthetische FT produceert naast basischemicaliën ook e-SAF en wordt daardoor opgeschaald om aan deze verplichting te voldoen. ETE en ETP produceren alleen basischemicaliën en dragen niet bij aan de brandstofvraag. Deze technologieën worden hierdoor in de rangorde verdrongen door FT-synthetisch, ondanks hun lagere kosten per ton chemicaliën.

## 7.5 Kostenverschil richting 2050

De modellering van de technologie-inzet per scenario in 2050 levert belangrijke inzichten op wanneer deze gekoppeld wordt aan de bevindingen op sectoraal niveau.

- Tot 2040: De kosten lopen in scenario (2) *Verdienvermogen* en (3) *Maximale circulariteit* min of meer gelijk op. Dit komt doordat de verduurzaming van de koolstofchemie in beide scenario's leunt op de relatief goedkope routes op basis van biogene grondstoffen en recyclaatstromen.
- 2040: Biogene grondstoffen worden schaarser, plastic afval is maximaal benut en de recyclinginfrastructuur is optimaal ingericht.
- Na 2040: Verdere opschaling van de circulaire koolstofchemie kan alleen komen van synthetische processen. Dit leidt tot sterk oplopende kosten, vooral in scenario (3) *Maximale circulariteit*. Dit verklaart het grote kostenverschil in 2050 tussen de scenario's (Figuur 6.3).

<sup>25</sup> Electro Sustainable Aviation Fuel (e-SAF) is een specifieke categorie binnen SAF. Het wordt geproduceerd met behulp van groene waterstof en afgevangen CO<sub>2</sub> en kan fossiele kerosine direct vervangen.

## 8. Conclusie

De modelanalyse laat zien dat de toekomst van de Nederlandse koolstofchemie sterk afhankelijk is van beleidskeuzes, grondstoffenbeschikbaarheid en de timing van investeringen. Op basis van de analyse en de afgeleide technologierangorde kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

### 1. Zonder aanvullend beleid verdwijnt een groot deel van de Nederlandse koolstofchemie

In het scenario (1) *Ongewijzigd beleid* halveert de omvang van de Nederlandse koolstofchemie richting 2040. Hiermee wordt een substantieel weglekrisico zichtbaar: fossiele productie verschuift naar het buitenland, terwijl de mondiale emissies naar verwachting niet dalen en mogelijk zelfs kunnen stijgen door inefficiëntere productie elders. Met het behoud en de verduurzaming van de koolstofchemie is daarmee zowel een economisch als een klimatologisch doel gediend.

### 2. Uitbreiding CBAM en vraagcreatie zijn complementaire randvoorwaarden voor verduurzaming

De resultaten tonen aan dat twee beleidsinstrumenten essentieel zijn om de Nederlandse koolstofchemie te behouden én te verduurzamen. De uitbreiding van CBAM naar relevante (chemische) productcategorieën voorkomt een concurrentienadeel voor binnenlandse duurzame productie en beperkt fossiele import. Robuuste vraagcreatie, zoals PPWR, FuelEU en ReFuelEU, creëert zekerheid voor investeringen in duurzame productiecapaciteit en nieuwe technologieën. De uitbreiding van CBAM voorkomt weglek aan de aanbodzijde, terwijl vraagmandaten investeringszekerheid bieden aan de vraagkant, waarmee deze beleidsinstrumenten een basisvoorwaarde voor het behoud en de verduurzaming van de Nederlandse koolstofchemiesector vormen.

### 3. Oplopende marginale kosten bepalen de laatste fase van de transitie

De modelresultaten laten zien dat de eerste stappen in de verduurzaming van de koolstofchemie relatief kostenefficiënt zijn. Routes op basis van recycelaat en biomassa behoren in alle scenario's tot de goedkoopste opties en worden daarom als eerste en maximaal ingezet. Deze routes dragen een groot deel van de initiële emissiereductie en vormen daarmee een logische en economisch rationele start van de transitie.

Naarmate de sector dichterbij de einddoelstellingen in 2050 komt (netto-nul of fossielvrij), wordt echter zichtbaar dat deze kostenefficiënte routes tegen schaalgrenzen aanlopen. Door de beperkte beschikbaarheid van geschikte circulaire koolstofstromen kunnen recycling- en biogene routes niet verder opgeschaald worden. De resterende emissiereductie moet dan worden ingevuld met aanzienlijk duurdere alternatieven, met name synthetische routes op basis van CO<sub>2</sub> en groene waterstof, of fossiele productie gecombineerd met CCS.

Dit verklaart waarom in scenario (3) Maximale circulariteit de latere fases van de transitie duidelijk duurder wordt dan in scenario (2) Verdienvermogen, ondanks vergelijkbare emissiereducties in 2050. De meerkosten zijn niet het gevolg van een snellere start, maar van sterk oplopende marginale kosten bij de laatste verduurzamingsstappen. De modelresultaten bevestigen daarmee het bredere inzicht dat juist de laatste fase van de transitie het meest complex en kostbaar is.

#### 4. Schaarse circulaire koolstofbronnen bepalen de haalbare transitiesnelheid

Het realiseren van de geschetste rangorde hangt sterk samen met de beschikbaarheid van de twee schaarse circulaire koolstofbronnen (biogene grondstoffen en recycalaat). Het vergroten van zowel volume als kwaliteit van deze stromen is cruciaal om de kosteneffectieve transitiepaden open te houden.

##### a. Recycalaat

Plasticafvalstromen zijn beperkt en variëren sterk in kwaliteit. Maximale benutting vereist grootschalige investeringen in zowel mechanische als chemische recycling, evenals verbeterde inzameling, sortering en productontwerp. Kwaliteit is hierbij minstens zo bepalend als volume.

##### b. Biomassa

De beperkte beschikbaarheid van biomassa maakt prioritering van toepassingen noodzakelijk. De koolstofchemie behoort tot de moeilijkst te verduurzamen sectoren, waardoor inzet van biomassa hier logischer is dan in relatief makkelijk te verduurzamen sectoren zoals elektriciteitsproductie. Binnen de koolstofchemie is verdere prioritering volgens de technologierangorde essentieel. Het vergroten van de beschikbaarheid vraagt om betere benutting van reststromen, robuuste importketens met certificering, investeringen in logistiek en voorbewerking, en technologische verbeteringen die de efficiëntie verhogen.

#### 5. Randvoorwaarden zijn bepalend voor investeerbaarheid

Het openhouden van optimale transitiepaden vereist dat cruciale randvoorwaarden tijdig op orde zijn. Met name een versnelde uitbreiding van de elektriciteit-, waterstof- en CO<sub>2</sub>-infrastructuur is noodzakelijk. Zonder adequate energievoorziening ontstaan vanaf 2030 knelpunten die investeringsbeslissingen vertragen of blokkeren, ongeacht de kosteneffectiviteit van technologieën. [Rapport Wennink – De route naar toekomstige welvaart](#) benadrukte in december 2025 al dat energie-infrastructuur een cruciale randvoorwaarde vormt voor economische groei en welvaart.

## 9. Aanbevelingen en vervolgonderzoek

Op basis van de modelresultaten en de afgeleide technologierangorde volgt hieronder een samenhangend pakket aanbevelingen dat concrete handvatten biedt om richting te geven aan een toekomstbestendige koolstofchemie.

1. **Versnel investeringen in hoogwaardige recycling.** Investeer in mechanische en chemische recyclingprojecten die het volume en de kwaliteit van beschikbaar recyclaat vergroten.
2. **Prioriteer biogene routes met de hoogste systeemwaarde.** Gebruik de technologierangorde als toetsingskader voor investeringsbeslissingen. Investeer alleen in toepassingen waarin de schaarse biomassa op de meest efficiënte manier tot emissiereductie leidt. Voorkom investeringen in laagwaardige of makkelijk te elektrificeren toepassingen van biomassa.
3. **Versterk de betrouwbaarheid van duurzame biomassa-aanvoerketens.** Investeer in logistieke infrastructuur, voorbereidingstechnologie, certificerings- en traceerbaarheidssystemen en langetermijncontracten om de aanvoer van duurzame biomassa te borgen. Dit verkleint zowel leverings- als beleidsrisico's en verhoogt de investeerbaarheid van biogene routes.
4. **Investeer selectief en gefaseerd in synthetische routes.** Richt financiering op synthetische routes die bestaande infrastructuur benutten of voorzien in duidelijke nichetoepassingen. In de eerste fase van de transitie ligt de nadruk vooral op pilotprojecten. Opschaling van synthetische routes wordt relevant in een latere fase van de transitie, wanneer schaarse circulaire koolstofbronnen volledig zijn benut en er beleidsmatige vraag ontstaat.
5. **Maak financiering voor CO<sub>2</sub>-afvang en -gebruik mogelijk.** CO<sub>2</sub>-afvang is een noodzakelijke randvoorwaarde voor de transitie. CCS is cruciaal om kosteneffectief richting netto-nul te bewegen in scenario (2) Verdienvermogen, terwijl CCU essentieel is als grondstofbron voor synthetische routes in scenario (3) Maximale circulariteit. Investeringsprojecten in afvang, transport en opslag of hergebruik zijn daarom strategisch noodzakelijk.
6. **Versnel investeringen in energie-infrastructuur.** Een tijdige uitbreiding elektriciteits- en waterstofinfrastructuur is een randvoorwaarde in alle scenario's. Zonder deze infrastructuur verliezen zelfs technologisch of economisch aantrekkelijke routes hun investeerbaarheid. Investeringsprojecten in infrastructuur hebben daarmee een belangrijke hefboomwerking op de gehele transitie.

De modelresultaten laten zien dat behoud van een concurrerende en klimaatneutrale koolstofchemie in Nederland technisch en economisch mogelijk is, mits tijdig wordt gekozen voor de juiste volgorde van technologieën en bijbehorende randvoorwaarden. De technologierangorde die in dit rapport is ontwikkeld biedt concreet richting voor investerings- en beleidskeuzes.

Vervolgonderzoek kan zich richten op

- de selectie en beoordeling van specifieke investeringsprojecten;
- de commerciële haalbaarheid van productieroutes voor specifieke eindproducten;
- en een optimale investeringsrangorde over de gehele waardeketen.

## Appendix A: Europees beleid

**Advanced Materials Act** – Aangekondigd voor 2026 en heeft als doel om technologische ontwikkeling in de chemische sector te stimuleren en belonen.

**Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)** – CBAM is een koolstofheffing aan de EU-grens, waarvan de hoogte van de heffing bepaald wordt door het verschil tussen de Europese ETS-prijs en de CO<sub>2</sub>-beprijzing in het land van herkomst. Het is geïntroduceerd om een gelijk speelveld te creëren en weglekrisico's tegen te gaan. De CBAM-regeling geldt voor ijzer en staal, meststoffen, cement, aluminium, elektriciteit en waterstof.

Gelijktijdig met de introductie van CBAM, zal het aantal gratis emissierechten in het EU ETS worden afgebouwd tussen 2026 en 2034. In 2026 ontvangen de sectoren 97,5% van het aantal gratis emissierechten beschikbaar in de sector. Dit zal afgebouwd worden naar 95% in 2027, 90% in 2028, 77,5% in 2029, tot 14% in 2033. In 2034 zullen er in deze sector geen gratis emissierechten meer beschikbaar zijn en zal het CBAM volledig geïntroduceerd zijn.

**Certification Framework for Permanent Carbon Removals, Carbon Farming, and Carbon Storage in Products** – Vrijwillig kader die hoogwaardige activiteiten op het gebied van koolstofverwijdering en bodememissies in de EU makkelijker maakt en stimuleert. Wanneer een bedrijf aan verschillende criteria voldoet, heeft het recht op een verhandelbaar certificaat.

**Circular Economy Act (CEA)** – De CEA wordt naar verwachting in 2026 gepubliceerd en geeft invulling aan de *Competitiveness Compass* en de *Clean Industrial Deal* (CID). De wet zal het bestaande beleidskader (zoals de *Circular Economy Action Plan*, PPWR en WFD) consolideren en uitbreiden met bindende doelen voor materiaalhergebruik, productontwerp, secundaire grondstoffenmarkten en industriële symbiose.

**Clean Industrial Deal (CID)** – De CID is de industriële pijler van de Europese Green Deal. De CID bundelt beleidsmaatregelen om de Europese energie-intensieve industrie te decarboniseren, innovatie te stimuleren en de concurrentiekracht van de industrie te versterken. Onderdeel van de CID zijn onder meer de *Net-Zero Industry Act*, de *Industrial Decarbonisation Accelerator Act*, het *European Chemical Industry Action Plan* en de *Circular Economy Act*.

**Clean Industrial Deal State Aid Framework (CISAF)** – Het CISAF biedt de juridische kaders voor staatssteunmaatregelen die lidstaten kunnen inzetten om de industriële transitie te ondersteunen. Het raamwerk vervangt en harmoniseert bestaande tijdelijke criskaders, en maakt het mogelijk om publieke steun te verlenen aan projecten die bijdragen aan decarbonisatie, elektrificatie, CCS/CCU en circulaire productie. CISAF moet de investeringskloof verkleinen tussen de EU en andere regio's met omvangrijke industrie-subsidies (zoals de Amerikaanse *Inflation Reduction Act*).

**Competitiveness Compass** – De *Competitiveness Compass* is een beleidsinstrument dat de EC in 2024 heeft geïntroduceerd om de voortgang van de EU richting de Green Deal-doelen te monitoren en de impact op het concurrentievermogen van de industrie te beoordelen. Het dient als onderbouwing voor beleid binnen de CID en biedt handvatten om industriepolitiek te richten op strategische autonomie en duurzame groei.

**Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD)** – Bedrijven moeten volgens deze richtlijn onderzoek doen naar en rapporteren over de externaliteiten/negatieve gevolgen van hun productie op mens en milieu, in eigen productie en de volledige waardeketen.

**Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)** – Richtlijn die bedrijven vraagt gedetailleerd te rapporteren over hun ESG-impact en risico's. Het doel hiervan is het promoten van transparantie en duurzaamheid.

**Ecodesign for Sustainable Product Regulation (ESPR)** – De ESPR breidt het bestaande Ecodesign-raamwerk uit naar vrijwel alle productcategorieën. De verordening stelt eisen aan duurzaamheid, herbruikbaarheid, repareerbaarheid, recycleerbaarheid en het aandeel gerecycled of biobased materiaal in producten. De ESPR is een hoeksteen van het *Circular Economy Action Plan* en ondersteunt de doelen van de PPWR en de *Circular Economy Act* door markttoegang te koppelen aan duurzaamheidsprestaties.

**Energy Efficiency Directive (EED)** – Richtlijn die lidstaten bindt tot doelstellingen en maatregelen voor energie-efficiëntieverbeteringen. De EED, herzien in 2023, verplicht overheden en grote bedrijven tot het doorvoeren van energiebesparingen en stimuleert efficiëntie in gebouwde omgeving, industrie en transport. De doelstelling voor de EU-lidstaten is om het finale energievraag collectief met 11,7% te reduceren in 2030 ten opzichte van 2020.

**Energy Tax Directive (ETD)** – De herziening van deze richtlijn in 2025 beoogt de energiebelaasting binnen de EU te harmoniseren en in lijn te brengen met het energie- en klimaatbeleid. De ETD moet het mogelijk maken om energietarieven aan te passen naar koolstofintensiteit van de brandstof. Op deze manier moet het prikkels creëren voor de overgang naar schonere energiedragers door fossiele brandstoffen relatief duurder te maken.

**EU Emission Trading Scheme (EU ETS):** Het EU ETS is een *cap and trade* systeem waarbij bedrijven in de deelnemende sectoren uitstootreductie moeten bewerkstelligen volgens een van tevoren vastgesteld afnemend emissieplafond. Emissierechten kunnen onderling verhandeld worden, waardoor er een prijs ontstaat voor emissierechten. Onder het EU ETS vallen de elektriciteitssector, de zware industrie en continentale vluchten. De zware industrie bestaat onder andere uit bedrijven in de chemische-, metaal- en steenindustrie.

In dit rapport wordt aangenomen dat het EU ETS systeem van kracht blijft en dat alle actoren zich aan de wet houden. Concreet zal het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS) ervoor zorgen dat de emissies die onder ETS vallen, tegen 2050 nul zijn.

**EU Taxonomy for Sustainable Activities** – Een classificatiesysteem dat criteria definieert voor economische activiteiten in lijn met weg naar net-zero in 2050, en bredere milieudoelen dan klimaat. In lijn met de doelen van de European Green Deal.

**European Chemical Industry Action Plan** – Op 8 juli 2025 is dit actieplan gepubliceerd als onderdeel van de *Clean Industrial Deal* (CID). De EC heeft hierin maatregelen aankondigt om de chemische sector in Europa te versterken. Onderdeel hiervan zijn meerdere beleidsinitiatieven voor marktcreatie van duurzame producten en het promoten van innovatie.

**European Climate Law** – Wetgeving vanuit de European Green Deal over de economie en maatschappij van Europa om klimaatneutraal te zijn in 2050. In deze wet worden de doelen van 55% minder uitstoot van broeikasgassen in 2030 ten opzichte van 1990 vastgesteld.

**European Green Deal** – Plan om de Europese economie, energie, transport en industrie te verduurzamen. Hierin worden doelen gesteld van minstens 50% emissiereductie in 2030, en klimaatneutraal in 2050. Dit wordt vastgelegd in de Climate Law. De Deal investeert in innovatie, schone technologieën en groene infrastructuur.

**European Grid Package** – Een pakket aan maatregelen om de toegang tot het elektriciteitsnet voor de chemische industrie te versnellen. Op deze manier kan het elektrificeren van de sector versneld worden.

**FuelEU Maritime Regulation** – Verordening die het gebruik van fossiele brandstoffen in de scheepvaart moet terugdringen. De regeling verplicht rederijen om het aandeel broeikasgasarme energiebronnen, zoals biobrandstoffen, e-methanol, e-ammoniak en waterstof, in hun brandstofmix geleidelijk te vergroten. De verplichte uitstootreductie wordt geleidelijk aangescherpt, van 2% reductie in 2025 tot 80% reductie in 2050 (ten opzichte van 2020).

**Fit-For-55** – Een pakket aan wetten om de broeikasgasemissies in de EU in uiterlijk 2030 met minstens 55% te verminderen. Zo moet de EU op weg naar klimaatneutraal in 2050. Het waarborgt de billijke en sociale rechtvaardige transitie, versterkt innovatie en het concurrentie vermogen van de industrie, garandeert een gelijk speelveld, en versterkt het leiderschap van de EU in de mondiale strijd tegen klimaatverandering.

**Gas Package** – Pakket van wetgeving dat de interne markt voor aardgas, hernieuwbare gassen en waterstof hervormt. Doel is de integratie van hernieuwbare en lage-koolstofgassen in het bestaande gasnet, het faciliteren van infrastructuur voor waterstof en het bevorderen van grensoverschrijdende handel.

**Green Claims Directive** – Verordening die greenwashing tegengaat door ervoor te zorgen dat labels en claims betrouwbaar zijn. De richtlijn geeft aan wanneer een bedrijf een claim mag leggen op duurzame productie.

**Green Transition Directive** – Voor het kopen van een product ontvangen consumenten betere informatie over de duurzaamheid, levensduur en herstelbaarheid van een product. Vage claims over duurzaamheid zijn verboden, waardoor bedrijven niet meer aan greenwashing kunnen doen.

**Industrial Carbon Management (ICM)** – Actieplan voor het beheer van industriële CO<sub>2</sub>-stromen (CC(U)S). ICM richt zich op het stimuleren van CO<sub>2</sub>-transportsystemen, opslagcapaciteit, markten voor CO<sub>2</sub>-gebruik, en op het operationaliseren van grootschalige CO<sub>2</sub>-verwijdering en -opslag.

**Industrial Decarbonisation Accelerator Act** – Bij publicatie van de CID heeft de EC aangekondigd om met een voorstel hiervoor te komen. Concreet moet dit maatregelen bevatten die de vergunningverlening bij projecten die de broeikasgasemissies reduceren in energie-intensieve industrieën. Verder dient de wetgeving bepaalde duurzaamheidscriteria in te voeren, zodat het in lijn is met aankomende hervormingen van publieke aanbestedingswetgeving.

**Landfill Directive** – Volgens de hiërarchie in afval volgens de EU, is storten de minst gewenste optie. Daarom zorgt deze richtlijn voor een afname in het storten van afval. Dit geldt in het speciaal voor afval dat gerecycled of hersteld kan worden. Op deze manier moet het negatieve effect op de het milieu beperkt worden gehouden.

**Methane Strategy** – Beleidskader gericht op het terugdringen van methaanemissies in de EU en in internationale waardeketens. De strategie bevat maatregelen voor monitoring, rapportage en vermindering van methaanlekken in de olie- en gasector, landgebruik en afvalverwerking.

**Net-Zero Industry Act (NZIA)** – Regelgevend kader die de concurrentiepositie van de Europese industrie en technologieën voor verduurzaming moet waarborgen. Verbeterd de productiecapaciteit van net-zero technologieën en helpt het opschalen hiervan. Het doel voor 2030 is het behalen van minimaal 40% van de net-zero productiecapaciteit van de jaarlijkse inzet.

**Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR)** – Wetgeving om de hoeveelheid verpakkingen en afval te minimaliseren. Er moet een transitie plaatsvinden naar een circulaire, duurzame en competitieve economie. Ook moet het gebruik van primaire grondstoffen verminderd worden. Het gebruik van gerecycled plastic moet bijvoorbeeld vergroot worden, terwijl het gebruik van virgin materialen wordt afgebouwd.

**Plastic Levy** – Europese lidstaten betalen 0,80 EUR per kilogram niet-gerecycled verpakkingsafval aan het EU-budget. Op deze manier wil de EU plastic vervuiling tegengaan en een circulaire economie stimuleren.

**Plastic Strategy** – Deze strategie heeft als doel het transformeren van plastic gebruik, productie, design en de recycling van plastics. De strategie beschermt het milieu en vermindert zwerfvuil op zee, broeikasgasemissies, de afhankelijkheid van geïmporteerde fossiele brandstoffen. De vraag naar gerecycled plastic moet stijgen, en plastic afval moet gescheiden worden.

**ReFuelEU Aviation Regulation** – Verordening die de luchtvaart verplicht stapsgewijs meer Sustainable Aviation Fuel (SAF) te gebruiken. SAF kan geproduceerd worden uit biogene grondstoffen of via synthetische routes. Vanaf 2025 moet minimaal 2% van alle vliegtuigbrandstof op EU-luchthavens bestaan uit SAF, oplopend naar 6% in 2030, 20% in 2035, 34% in 2040, 42% in 2045 en 70% in 2050. Binnen deze totale SAF-verplichting geldt een subdoel voor synthetische brandstoffen (e-SAF): 1,2% in 2030, 5% in 2035, en 35% in 2050.

**Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)** – Europese verordening voor chemische stoffen. Zo beschermt de EU de gezondheid van mens en milieu. REACH staat voor Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen. De industrie moet zelf de risico's beheren door informatie over de toepassing van de stoffen te verzamelen en te rapporteren. Het geldt voor bedrijven die deze stoffen produceren, importeren, verwerken of gebruiken in de EU, ook wanneer de stoffen zijn verwerkt in producten of mengsels.

**Renewable Energy Directive (RED)** – De herziening van deze richtlijn (RED III) stelt bindende doelen voor het gebruik van hernieuwbare energie in de industrie. In de RED worden verschillende duurzaamheidscriteria, verplichtingen, doelen en regelgeving uitgelicht die de energietransitie moeten versnellen. Onderdeel van deze richtlijn zijn doelstellingen op het gebied van *Renewable Fuels of Non-Biological Origin* (RFNBO's).

**REPowerEU** – Het doel van dit plan is het uifaseren van de import van Russische fossiele brandstoffen. Het plan moet energie besparen, het aanbod van energie diversifiëren en schone energieproductie stimuleren. Het plan draait om betaalbare, veilige en duurzame energie.

**Single-Use Plastics Directive (SUP)** – Richt zich op het verbieden of beperken van bepaalde wegwerpplastic producten om plasticvervuiling te verminderen. Wanneer het beschikbaar en betaalbaar is om duurzame alternatieven te gebruiken, mogen er geen SUP's op de markt gebracht worden.

**Sustainable Carbon Cycle Strategy** – Gaat over het vastleggen, gebruiken en opslaan van CO<sub>2</sub> op een duurzame manier. Hierbij hoort een strategie over bijvoorbeeld CCS en CCU. In deze strategie staat als doel het opslaan van minstens 5 miljoen ton CO<sub>2</sub> per jaar. Het is dus een routekaart om CO<sub>2</sub> duurzaam te verwijderen en te gebruiken, door middel van certificaten.

**Transition Pathway for the Chemical Industry** – Beschrijft hoe de chemische industrie kan verduurzamen en wat daarvoor nodig is. Het beschrijft welke acties en voorwaarden nodig zijn om een groene en digitale transitie te behalen, en de chemische industrie weerbaarder te maken.

**Waste Framework Directive (WFD)** – Deze richtlijn beschrijft doelen voor hoeveel afval van huishoudens en gemeenten gerecycled moeten worden. Afval wordt gelabeld, gemonitord en gecontroleerd van de productie tot het verwerken. Ook worden bijproducten gedefinieerd en geclassificeerd om te voorkomen dat er milieu-invloeden zijn. Zo wordt recycling aangemoedigd.

## Appendix B: Gemodelleerde circulaire koolstofprocessen

Deze appendix beschrijft circulaire koolstofprocessen (of onderdelen daarvan) die zijn opgenomen in het TDES-model. De technologieën zijn geselecteerd op basis van hun technologische rijpheid ( $TRL > 7$ ), potentiële bijdrage aan de reductie van fossiel koolstofgebruik en relevantie voor de Nederlandse chemische sector.

**ATJ (Alcohol-to-Jet)** – Productie van synthetische vliegtuigbrandstof (Sustainable Aviation Fuel, SAF) uit bio-ethanol. De route omvat een reeks stappen, onder andere oligomerisatie.

**Droge reforming** – Biogene productie van synthesegas (syngas) uit plantaardige biomassa of huishoudelijk restafval met organische inhoud. Het proces start met de vergassing van biomassa (na torrefactie) of RDF (*Refuse-Derived Fuel*), gevolgd door een upgradingtraject bestaande uit gasreiniging van het synthesegas, een water-gas-shift (WGS) en  $CO_2$ -scheiding. Omdat biomassa en RDF sterk verschillen in koolstofdichtheid en samenstelling, vereist elk type feedstock afzonderlijke vergassingsinstallaties.

**Ethanolinstallaties** – Productie van bio-ethanol via fermentatie van plantaardige biomassa. De biomassa wordt eerst via hydrolyse omgezet in suikers, die vervolgens door micro-organismen worden omgezet in ethanol. Bio-ethanol wordt toegepast als transportbrandstof, energiedrager of grondstof voor verder chemische conversie.

**Ethanol-to-Ethylene (ETE)** – Conversie van ethanol naar ethyleen via katalytische dehydratie. Biedt de mogelijkheid om zowel bio- als synthetisch geproduceerde ethanol om te zetten naar ethyleen.

**Ethanol-to-Propylene (ETP)** – Conversie van ethanol naar propyleen. Dit kan via directe katalytische conversie of indirect via ETE. ETP is complexer en kapitaalintensiever dan ETE.

**Fischer-Tropsch (FT)** – Productie van synthetische vloeibare koolwaterstoffen (brandstoffen of grondstoffen) uit synthesegas. Afhankelijk van de herkomst van het synthesegas, worden de producten geclassificeerd als biobrandstoffen (biogeen syngas) of e-fuels (synthetisch syngas). Het proces omvat hydrokraken van kunstmatige ruwe olie en diverse destillatiestappen. De technologie is commercieel bewezen met fossiele input, onder andere in installaties zoals *Pearl GTL* in Qatar.

**HVO (Hydrotreated Vegetable Oil)** – Productie van biobrandstof door hydrobehandeling van oliehoudende biomassa, zoals gebruikt frituurvet en dierlijk vet. Door destillatie van diesel- en kerosinefracties worden duurzame brandstoffen geproduceerd. De technologie is commercieel beschikbaar en reeds operationeel in Nederland.

**Mechanische recycling** – Betreft het verwerken van kunststofafval zonder chemische afbraak van polymeerketens. Het proces omvat sortering, reiniging, malen en omzetten tot recyclaat. De kwaliteit van het recyclaat is afhankelijk van de zuiverheid van de inputstromen. Mechanische recycling is energetisch efficiënt, maar beperkt toepasbaar door kwaliteitsverlies (*downcycling*) en vervuiling van de inputstroom.

**Methanolinstallaties** – Synthese en destillatie van bio-methanol uit synthesegas. Methanol kan dienen als energiedrager, brandstof of platformmolecuul voor verdere chemische conversie.

**MTG (Methanol-to-Gasoline)** – Conversie van (bio)methanol naar synthetische benzine, eveneens via DME. De geproduceerde benzine kan deels worden bijgemengd in fossiele benzine.

**MTO (methanol-to-olefinen)** – Conversie van (bio)methanol naar ethyleen en propyleen, met DME-productie als tussenstap. Een kansrijke route voor duurzame productie van basischemicaliën.

**OCM (Oxidative Coupling of Methane)** – Direct katalytische koppeling van methaan tot ethyleen en andere  $C_2$ -producten via partiële oxidatie.

**Pyrolyse** – Thermochemische ontleding van kunststofafval bij hoge temperatuur (400–800°C) en zonder zuurstof, resulterend in pyrolyse-olie. Deze olie kan worden opgewerkt tot nieuwe chemische grondstoffen of als nafta-ervanger dienen in stoomkrakers. Pyrolyse is een veelbelovende route voor de chemische recycling van gemengd kunststofafval.

**RWGS (Reverse Water Gas Shift)** – Synthetische productie van synthese gas uit waterstof en CO<sub>2</sub>. Hoewel deze route relatief kapitaalintensief is, is het mogelijk om zuivere CO<sub>2</sub> als grondstof in te zetten, wat bijdraagt aan emissiereductie en koolstofcirculatie. RWGS vormt een schakel tussen waterstofproductie en C1-chemie, zoals methanolproductie.

**Solvolyse** – Chemische recyclingtechniek waarbij polymeren worden afgebroken in hun monomeren met behulp van oplosmiddelen onder gecontroleerde temperatuur en druk. De monomeren kunnen opnieuw worden gebruikt voor polymerisatie.

**Syngas-fermentatie (SF)** – Biotechnologische conversie van CO<sub>2</sub> naar ethanol via gasfermentatie. De technologie wordt op commerciële schaal toegepast door LanzaTech en kan worden ingezet voor de productie van SAF (via de ATJ-route) of als grondstof in de circulaire koolstofchemie.

## Appendix C: Beschikbaarheid van grondstoffen

De onderstaande tabel geeft aan hoeveel van een bepaalde grondstof beschikbaar is. Het zijn geen voorspellingen van het daadwerkelijke gebruik. De voorspellingen van consumptievolumes zijn endogeen.

Grondstof	Herkomst	2020	2030	2050	Eenheid
Aardgas	Import	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	
Aardgas (Noordzee)	Nationaal	100	87	0	TWh
Groen gas	Nationaal	5	14	48	TWh
Steenkool	Import	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	
Aardolie	Import	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	
Hernieuwbare elektriciteit	Nationaal	21,7	150,6	450	TWh
Kernenergie	Nationaal	10,3	10,3	Onbeperkt	TWh
Waterstof <sup>26</sup>	Import	0	0	200	TWh
Grijze ammoniak	Import	37,5	37,5	37,5	TWh
Groene ammoniak	Import	0	37,5	37,5	TWh
Bio-ethanol	Import	0,4	0,6	1	Mton
Pure CO <sub>2</sub>	Import	0	3,3	10	Mton
Plastic	Nationaal	0	1,3	4	Mton
Huishoudelijk afval	Nationaal	0	0,5	1,5	Mton
Lignocellulose <sup>27</sup>	Mix	1,5	2	3	Mton
Lipiden	Nationaal	2,4	4	6	Mton
Duurzame nafta	Import	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	
Duurzame brandstoffen	Import	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	

<sup>26</sup> Waterstofimport is beschikbaar met 33 TWh per 2035, die jaarlijks geleidelijk toeneemt tot 200 TWh in 2050 (gebaseerd op de planning van de Nederlandse waterstofbackbone en gerelateerde havenprojecten).

<sup>27</sup> Dit verwijst naar lignocellulose als bio-grondstof, met uitzondering van houtpellets die gereserveerd zijn voor elektriciteitsopwekking.

## Appendix D: Kostenprofiel van grondstoffen

Grondstof	Herkomst	2020	2030	2050	Eenheid
Aardgas	Import	14	40	40	€/MWh
Groen gas	Nationaal	64	81	81	€/MWh
Steenkool	Import	80	100	100	€/ton
Aardolie	Import	64	80	80	€/vat
Grijze waterstof <sup>28</sup>	Import			137,5	€/MWh
Blauwe waterstof	Import			117,1	€/MWh
Groene waterstof	Import			169,8	€/MWh
Groene methanol	Import		1100	1100	€/ton
Bio-ethanol	Import	540	675	675	€/ton
Pure CO <sub>2</sub>	Import	250	250	250	€/ton
Grijze ammoniak	Import	33,9	98,6	142,2	€/MWh
Blauw ammoniak	Import		171,3	171,3	€/MWh
Groene ammoniak	Import		178,9	178,9	€/MWh
Plastic	Nationaal	175	175	175	€/ton
Huishoudelijk afval	Nationaal	100	100	100	€/ton
Lignocellulose	Nationaal	75	75	75	€/ton
Lipiden	Nationaal	600	600	600	€/ton
Fossiel brandstoffen	Import	51,2	62,7	64,1	€/MWh
Biobrandstoffen	Import	223,4	125,7	127,1	€/MWh
Synthetische brandstoffen	Import	228,8	262	244,1	€/MWh
		<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>Eenheid</b>
ETS-prijs <sup>29</sup>		25	124	280	€/ton
CCS-kosten <sup>30</sup>		170	170	170	€/ton

<sup>28</sup> Waterstof-/ammoniakimportprijzen zijn dynamisch berekend op basis van de jaarlijkse (nationale) productiekosten en bijkomende factoren zoals transportkosten.

<sup>29</sup> ETS-prijs is gebaseerd op het midden-scenario van het PBL (2024).

<sup>30</sup> De vermelde CCS-kosten hebben alleen betrekking op afvang; transport en opslag van CO<sub>2</sub> kosten €80/ton extra.

## Colofon

© Copyright EqoLibrium B.V. 2026. Alle rechten worden voorbehouden. Het is niet toegestaan dit document (geheel of gedeeltelijk) te kopiëren, te verspreiden of door te geven aan derden.

De tekst is afgesloten op 30 januari 2026.

Voor meer informatie over dit onderzoek, of over de andere diensten van EqoLibrium, kunt u contact opnemen met:

Hans van Cleef – [hans.vancleef@eqolibrium.com](mailto:hans.vancleef@eqolibrium.com) / 0031- 6 30 90 33 76

Fabian Steenberg – [fabian.steenbergen@eqolibrium.com](mailto:fabian.steenbergen@eqolibrium.com)

Gregor Brandt – [gregor.brandt@eqolibrium.com](mailto:gregor.brandt@eqolibrium.com)

Jim van der Valk Bouman – [jim.vandervalkbouman@eqolibrium.com](mailto:jim.vandervalkbouman@eqolibrium.com)

Foto voorpagina: Vilius Kukanauskas

## DISCLAIMER

Dit document is samengesteld door EqoLibrium B.V.. Dit document dient uitsluitend ter informatie en vormt geen aanbod van effecten aan het publiek, noch enig advies met betrekking tot de financiële markten, energiemarkten, het doen van beleggingen, kostenbeheer en/of zakelijke activiteiten, noch een uitnodiging tot deze handelingen. Financiële handelingen of transacties kunnen derhalve niet berusten op (de informatie in) dit document. EqoLibrium B.V., haar bestuurders noch haar werknemers geven enige verklaring of garantie, expliciet of impliciet, omtrent de nauwkeurigheid, volledigheid of juistheid van dit document en de bronnen die hierin worden vermeld en zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor enig verlies of schade, direct of indirect. De opvattingen en meningen in dit document kunnen op elk moment veranderen en EqoLibrium B.V. is niet verplicht de informatie in dit document na de datum ervan bij te werken. De visie van EqoLibrium B.V. komt tot stand onafhankelijk van de andere bedrijfsactiviteiten van EqoLibrium B.V.. Dit document mag niet worden verspreid aan personen in de Verenigde Staten of aan "US persons" zoals gedefinieerd in Regulation S van de United States Securities Act van 1933, zoals gewijzigd.