Transitiepaden naar een duurzame koolstofchemie

1 april 2025

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

Verantwoording

Titel	Transitiepaden naar een duurzame koolstofchemie
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Projectleider	Jurgen Ooms (TAUW)
Auteur(s)	Jurriaan Vink (Rebel), Joanne van ’t Zelfde (TAUW), Matthijs de Jong (TAUW), Roel van Raak (DRIFT)
Tweede lezer	Jurgen Ooms (TAUW), Nicolein Blanksma (Rebel)
Kenmerk	R002-1297489JZE-V02-ivl-NL
Aantal pagina’s	53 (exclusief bijlagen)
Datum	1 april 2025
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Samenvatting

Dit rapport geeft een verkenning weer van transitiepaden die kunnen leiden tot een duurzame, fossielvrije koolstofchemie. Voor dit rapport zijn 4 scenario's ontwikkeld die kunnen leiden tot een duurzame koolstofchemie. Voor deze scenario's zijn sterke 'drijvende krachten' noodzakelijk, die de chemiesector tot een transformatie naar fossielvrij drijven. De scenario's die zijn bekeken worden hieronder kort geschetst.

1. **Green deal on steroids.** In dit scenario wordt vanuit Europa gestuurd op een transitie richting een duurzame koolstofchemie. Daarbij wordt de sector gedwongen tot het verminderen van het gebruik van fossiele grondstoffen en tegelijkertijd via fondsen gestimuleerd om over te schakelen op gerecyclede, biobased of eventueel CCU grondstoffen. Alleen sturen op CO_2-uitstoot is niet voldoende. Dit scenario leidt tot de meest vloeiende overgang naar fossielvrij
2. **Plastic Panic.** In dit scenario ontstaat in de maatschappij een afkeer van kunststof en gevaarlijke chemicaliën en ontstaat er een grotere vraag naar biobased producten. Hoewel de productie in dit geval vraaggestuurd wordt omgebogen is voor een deel ook nog sturing nodig vanuit de overheid. In dit scenario loopt de omvang van de chemie het sterkst terug
3. **Geïsoleerd Europa.** Dit scenario ontstaat doordat er globaal een handelsoorlog ontstaat waardoor Europa zich richt op zelfvoorziening. Er ontstaat een sterke focus op (chemische) recycling aangevuld met biogrondstoffen. Export komt uiteindelijk tot stilstand
4. **Big Carbon tech.** In dit scenario ontwikkelt zich een nieuwe technologie exponentieel waardoor oude technologie die hetzelfde kon uit de markt wordt gedrukt. De technologie is in staat om de transitie naar fossielvrij te versnellen. In dit scenario is het belangrijk om op tijd de sprong te (kunnen) maken naar de nieuwe technologie

Lessen die uit de scenario's getrokken kunnen worden

In de huidige situatie zijn er drijvende krachten (zoals Europese wetgeving die inzet recyclaat verplichten[1], algehele wens om duurzaam te worden, druk op verminderen CO_2) om de chemiesector te verduurzamen. Deze zijn niet zo sterk als in de scenario's en zijn naar verwachting onvoldoende de transitie naar een volledig duurzame koolstofchemie te realiseren. Als er niets verandert dan is er in 2050 geen duurzame koolstofchemie. In een van de scenario's is er een drijvende kracht die we vanuit Europa kunnen vergroten, de andere geschetste 'drijvende krachten zijn extern. Om ons voor te bereiden op een versnelling in de transitie naar een duurzame koolstofchemie zijn de volgende lessen te trekken:

- Zorg dat we de transitie aan zien komen. Zowel de Rijksoverheid als de chemische sector zou de voorspellende signalen in de gaten moeten houden zodat voorbereid kan worden op de transitie die zich ontwikkelt. Deze signalen zijn weergegeven in paragraaf 4.3

[1] Zoals de Packaging and Packaging Waste Regulation

- In alle scenario's is de schok in de keten het kleinst als er al een begin is gemaakt met het ontwikkelen van vervangende koolstofbronnen. Het gaat hierbij om zowel pyrolyse olie uit afval(plastic) als uit biomassa die (na upgraden) in een bestaande kraker kunnen worden gebruikt, als om halffabricaten die via een andere chemische weg (bijvoorbeeld via vergisting, solvolyse, dissolutie) uit biomassa en plasticafval worden gemaakt. Producten die via vergassing en synthese uit het daarbij ontstane gas worden gemaakt lijken ook veelbelovend. De productie van chemicaliën uit koolstof die uit de lucht, water of afgassen wordt afgevangen lijkt de komende decennia niet interessant omdat dit soort processen veel energie vergen en energieprijzen in Nederland hoog zijn. De Rijksoverheid en de chemische sector zullen moeten samenwerken om de technologie en markt van vervangende koolstofbronnen zover te ontwikkelen dat als er een grote (externe) drijvende kracht komt, de productie van vervangende koolstofbronnen snel kan worden opgeschaald. Niet alle technologie die nodig is om over te stappen op duurzame koolstofgrondstoffen hoeft zelf te worden ontwikkeld. Het is vooral belangrijk om in staat te zijn om op te schalen zodra een nieuwe technologie zich heeft bewezen. Dit vereist intellectual property (IP) management. De chemische industrie kan zelf de hiervoor benodigde patenten aanvragen, kopen of zorgen dat licenties worden verkregen. Omdat alternatieve grondstoffen leiden tot duurdere producten kan de opschaling alleen plaatsvinden als er van overheidswege een markt wordt gecreëerd. Denk hierbij aan de al bestaande markt voor biobrandstoffen, of aan de recycled content eisen die worden gesteld aan verpakkingen vanaf 2030
- Naast het creëren van een markt voor producten uit alternatieve koolstofbronnen is het van belang dat bedrijven die fossiele grondstoffen gebruiken kosten moeten doorberekenen voor de negatieve milieu-impact die zij veroorzaken. Dit kan via een mechanisme zoals het ETS systeem dat CO_2-uitstoot van fossiele aard binnen Europa beprijst. Het beprijzen van CO_2-emissies bij productie buiten Europa kan bijvoorbeeld vormgegeven worden door het Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) uit te breiden naar chemicaliën.
  De Rijksoverheid kan bij de Europese overheid aandringen op het invoeren van maatregelen om de Europese bedrijven die overstappen op niet fossiele grondstoffen te beschermen tegen concurrentie van bedrijven die buiten Europa goedkoop fossiel blijven gebruiken
- Naast het omzetten van alternatieve koolstofbronnen tot de gewenste chemicaliën en producten is het verkrijgen van de alternatieve koolstofbronnen ook van belang. Er is geen oneindige voorraad biogrondstoffen en geschikt afval. Dit geldt speciaal voor Nederland met haar kleine landoppervlak, relatief kleine bevolking in combinatie met een relatief grote chemische sector. Een fors deel van de grondstoffen zal dus uit het buitenland moeten komen. Het is belangrijk dat bedrijven in de chemiesector daar de connecties voor ontwikkelen met de juiste partijen in het buitenland. Voor de overheid is het belangrijk om dit te ondersteunen met handelsmissies, maar vooral ook om duidelijk te maken welke typen alternatieve grondstoffen voldoen aan de eisen voor duurzame koolstof. Als de grondstoffen worden geteeld met veel milieu-impact, of leiden tot bijvoorbeeld ontbossing dan is de milieuwinst ten opzichte van fossiel wellicht beperkt
- Neem de maatschappij mee in de transitie. Door de maatschappij mee te nemen kunnen consumptiepatronen al veranderen naar duurzamere alternatieven en is de maatschappij voorbereid op prijsschokken en tekorten aan specifieke producten.

Ook de veranderingen in de leefomgeving die nodig zijn voor de transitie worden beter geaccepteerd als de maatschappij is meegenomen

- Creëer een goed vestigingsklimaat voor nieuw te bouwen duurzame fabrieken. Denk hierbij aan gestroomlijnde vergunningverlening, voldoende ruimte en medewerkers en toegang tot financiering
- Maak keuzes in welke deelsectoren van de chemie altijd behouden moeten blijven voor Nederland en communiceer dat. Dit helpt met het aantrekken van de gewenste bedrijvigheid en voorkomt dat geïnvesteerd wordt in ongewenste bedrijvigheid. Het wel of niet behouden van basischemie (en vooral eerste stap chemie hierbinnen) is hierbij het grootste dilemma: gaan we fossielvrij worden door zelf een fossielvrije basischemie te realiseren, ook als dit zeer uitdagend is, of richten we ons op andere deelsectoren die van fossielvrije halffabricaten moeten worden voorzien
- Maak slim gebruik van de kansen die er liggen in de energietransitie. Materialen die nu nog als brandstof ingezet worden, bijvoorbeeld bionafta en biobrandstoffen uit rubberafval, kunnen in de toekomst grondstoffen zijn voor de chemische industrie

Inhoud

Samenvatting 3
Lessen die uit de scenario's getrokken kunnen worden 3
1 Introductie 9
1.1 Aanleiding 9
1.2 Wat is een duurzame koolstofchemie? 9
1.3 Onderzoeksvraag 10
1.4 Korte beschrijving werkwijze 10
1.5 Leeswijzer 11
2 Scenario's voor een duurzame koolstofchemie 12
2.1 Hoe zijn de scenario's opgebouwd in het kort 12
2.2 Basisscenario 13
2.3 Green deal on steroids 15
2.3.1 Effect op bedrijfseconomische factoren 16
2.3.2 Effect op de chemische sector 16
2.3.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland 17
2.3.4 Eindsituatie in dit scenario 18
2.3.5 Hoe kondigt het scenario zich aan 18
2.3.6 Welke acties moeten er genomen worden en randvoorwaarden 19
2.3.7 Conclusies 19
2.4 Plastic Panic 20
2.4.1 Effect op bedrijfseconomische factoren 20
2.4.2 Effect op de chemische sector 21
2.4.3 Randvoorwaardelijke uitdaging en knelpunten in Nederland 21
2.4.4 Eindsituatie in dit scenario 21
2.4.5 Hoe kondigt het scenario zich aan 22
2.4.6 Welke acties moeten er genomen worden 22
2.4.7 Conclusies 23
2.5 Geïsoleerd Europa 24
2.5.1 Effect op bedrijfseconomische factoren 24
2.5.2 Effect op sector 24

2.5.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland 25
2.5.4 Effecten op de chemische industrie in Nederland 25
2.5.5 Eindsituatie in dit scenario 25
2.5.6 Hoe kondigt het scenario zich aan? 26
2.5.7 Welke acties moeten er genomen worden 26
2.5.8 Conclusies 27
2.6 Big Carbon tech 28
2.6.1 Bedrijfseconomische omstandigheden in EU 28
2.6.2 Effect op de sector 28
2.6.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland 29
2.6.4 Eindsituatie in dit scenario 30
2.6.5 Hoe kondigt het scenario zich aan 30
2.6.6 Welke acties moeten er genomen worden? 31
2.6.7 Conclusies 32
2.7 Reflecties op de scenario's 32
2.7.1 Hoewel de scenario's 'extreem' zijn, zijn ze allemaal niet ondenkbaar 32
2.7.2 Er is een significant verschil tussen productievolume en financiële omzet 33
2.7.3 Benodigde hoeveelheid afval voor recycling is extreem hoog 33
2.7.4 Biobased grondstoffen vragen een zeer grote opschaling 33
2.7.5 Uitfasering fossiel betekent óf voldoende alternatieven óf krimp 34
3 Impact op de verschillende deelsectoren 35
3.1 Basischemie – 1e stap 35
3.2 Basischemie – Overig 37
3.3 Basischemie - kunststoffen 37
3.4 Coatings, verf, lijm, wasmiddelen en overige chemische producten 38
3.5 Pharma en agri-food specialty en fine chemicals 38
3.6 Verhouding tussen productieprijzen per technologie 39
3.6.1 Mechanische recycling 39
3.6.2 Chemische recycling 40
3.6.3 Biogebaseerde productie 41
3.6.4 Carbon capture and utilisation 43
3.6.5 Samenvatting van de kosten per technologie 43

4 Conclusies en aanbevelingen 46

4.1 Zonder maatregelen in 2050 geen duurzame koolstofchemie 46

4.2 No regret maatregelen, ongeacht het scenario dat werkelijkheid wordt 47

4.3 Toename van de drijvende kracht wordt vooraf gegaan door voortekenen, volg die voortekenen 48

4.4 Bereid je voor door de vervangende koolstofbronnen in producten te stimuleren 49

4.5 Bescherm de EU-markt 50

4.6 Ontwikkel een koolstofhandelsstrategie met bijbehorende handelsrelaties 50

4.7 Neem de maatschappij mee in de transitie 50

4.8 Creëer een goed vestigingsklimaat 51

4.9 Maak een keuze in welke delen van de chemie Nederland altijd wilt behouden, en communiceer deze keuze 52

4.10 Maak slim gebruik van de kansen die er liggen in de energietransitie 53

Bijlage 1 Werkwijze

Bijlage 2 Scenario-logica

Bijlage 3 Huidige sector & ontwikkelingen

Bijlage 4 Toelichting kwantitatief model

1 Introductie

1.1 Aanleiding

In het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE)[2] staat het streven om het gebruik van fossiele grondstoffen zo veel mogelijk te minimaliseren in 2050. Daarnaast is in het Nationaal Programma Circulaire Economie het doel opgenomen om in 2050 volledig circulair te zijn en het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie benadrukt dat het fossiele grondstofgebruik omlaag moet. Voor de chemische industrie, die de koolstof uit fossiele grondstoffen gebruikt om een range van producten (van kunststoffen tot wasmiddel en van coatings tot medicijnen) te produceren, betekent dit dat duurzame bronnen van koolstof (recyclaat, duurzame biogrondstoffen en CO_2) moeten worden gebruikt. Om in kaart te brengen wat de implicaties zijn van het sturen op duurzame koolstofbronnen worden momenteel diverse onderzoeken uitgevoerd[3].
Eén van de vragen die beantwoord moet worden om de kennisbasis te verbeteren en bij te dragen aan visievorming is hoe verschillende transitiepaden voor het verduurzamen van het grondstoffengebruik in de chemie eruit kunnen zien. Voor een groot aantal sectoren kunnen redelijke inschattingen worden gemaakt over hun toekomstige behoefte aan (wat voor soort) energiedragers en welke transitiepaden bij deze sectoren horen. Een soortgelijke exercitie heeft voor de grondstoffen van de chemie nog niet plaatsgevonden. Voorliggend rapport geeft antwoord op deze vraag.

1.2 Wat is een duurzame koolstofchemie?

Een duurzame koolstofchemie definiëren wij als een chemie die gebruik maakt van duurzame grondstoffen, dit zijn:

- Chemisch gerecyclede materialen (zoals via solvolyse en depolymerisatie)
- Biogebaseerde materialen (zowel drop-in substitutie van bestaande commodities als nieuwe biogebaseerde chemicaliën zoals PLA en PEF)
- Chemicaliën uit Carbon Capture and Utilisaton (CCU)

Het gebruik van deze duurzame grondstoffen moet bijdragen aan:

- Overall lagere milieu-impact, inclusief klimaatverandering, biodiversiteitsimpact en uitputting van natuurlijke hulpbronnen
- Minder risico voor de menselijke gezondheid
- Meer leveringszekerheid

Bij elke keuze voor een grondstof werd een afweging gemaakt tussen de bovenstaande bijdragen.

Mechanische recycling behoort niet tot de chemie, en zal als zodanig niet meegenomen worden in de scope, maar via mechanische recycling wordt wel de vraag naar virgin of zo goed als virgin stoffen verlaagd. Dit werd in de analyse meegenomen.

[2] Zie het Nationaal Plan Energiesysteem
[3] Naast dit onderzoek dat mogelijke scenario's verkent, voert TNO een technisch-economisch onderzoek uit waarin op basis van verschillende aannames doorgerekend wordt wat de goedkoopste oplossing is voor een CO_2-neutraal en een fossielvrije chemiesector. Berenschot begeleidt een expertpanel met het formuleren van hun beeld op de toekomst van de koolstofchemie in Nederland.

1.3 Onderzoeksvraag

Het doel van dit onderzoek is zicht krijgen in verschillende transitiepaden voor het verduurzamen van het grondstoffengebruik en daarbij de mogelijke routes schetsen naar een duurzame, circulaire en fossielvrije petrochemische industrie. De studie dient de volgende vraag te beantwoorden:

Hoofdvraag: hoe kunnen verschillende transitiepaden leiden naar duurzaam, fossielvrij grondstoffengebruik in de koolstofchemie?

- Met de term 'transitiepaden' wordt in deze opdracht gedoeld op de verschillende manieren hoe de koolstofchemie zich kan ontwikkelen naar een duurzaam 'eindbeeld' of scenario. Hierbij zijn voornamelijk koolstofbronnen en daaraan verwante technologieën voor het produceren van chemicaliën en andere producten van belang
- Deze transitiepaden kunnen op basis van verschillende scenario's worden vastgesteld. Welke scenario's dit uiteindelijk worden, zijn tussen opdrachtgever en -nemer als onderdeel van de opdracht bepaald.
- Het NPE en de beschrijving van de koolstofketen in het NPE is het uitgangspunt van deze studie. Dit houdt concreet in dat het streven is om het gebruik van fossiele koolstof te minimaliseren in 2050. Ook moet rekening worden gehouden met het NPVI en de ontwikkelingen uit het NPVI die randvoorwaardelijk zijn voor de grondstoffentransitie

Alhoewel deze studie focust op nationale transitiepaden, is het van belang deze te schetsen in een Europese en mondiale context.

1.4 Korte beschrijving werkwijze

Voor dit onderzoek is het volgende werk uitgevoerd:

- Er is in kaart gebracht hoe de chemie er nu uit ziet (bijlage 3)
- We hebben onderzocht welke drijvende krachten de koolstofchemie helpen verduurzamen (bijlage 2: scenariologica)
- Met het gewenste eindbeeld in het achterhoofd zijn 4 scenario's gemaakt waarbij een drijvende kracht is vergroot/versterkt zodat de drijvende kracht groot genoeg is geworden dat er een duurzame koolstofchemie ontstaat in 2050. Zie hoofdstuk 3 voor een uitgebreide beschrijving van de scenario's. Voor ieder van de scenario's is er gekeken:
    - Wat er gebeurt als de drijvende kracht groter wordt
    - Wat er gebeurt met de chemiesector in Nederland
    - Waar het gaat knellen
    - Wat de randvoorwaarde zijn om bij een duurzame koolstofchemie uit te komen.
    - Is met een model op hoofdlijnen benaderd hoeveel grondstoffen er nodig zijn en in welke vorm ze nodig zijn
    - Wat dit betekent voor de omzet van de chemische producten
    - We hebben in zijn algemeenheid inzichtelijk gemaakt welke effecten er per deelsector van de Nederlandse koolstofchemiesector op kunnen treden (zie hoofdstuk 4)

Op basis van deze scenario's zijn mogelijke transitiepaden uitgestippeld. Voor een verder inzicht en de werkwijze, net als de afbakening van dit project verwijzen we u naar Appendix 1.

Het is belangrijk om te vermelden dat het meeste werk rond het ontwikkelen van de scenario's plaats heeft gevonden rond oktober 2024. Bij het afronden van dit rapport is een deel van de mogelijke ontwikkelingen die in scenario's zijn beschreven reeds werkelijkheid geworden.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de opgestelde scenario's. Het legt kort uit hoe de scenario's tot stand zijn gekomen en wat de belangrijkste conclusies zijn per scenario.
Hoofdstuk 3 geeft de effecten van de transitie weer op de verschillende deelsectoren van de Nederlandse chemische industrie, inclusief de verwachte extra kosten voor gebruik van andere feedstocks.
Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek weer.
De werkwijze, achtergrondinformatie en een uitgebreide beschrijving van de totstandkoming van de scenario's zijn opgenomen in de bijlagen.

2 Scenario's voor een duurzame koolstofchemie

In dit hoofdstuk worden 4 mogelijke transitiepaden naar een duurzame koolstofchemie in 2050 gepresenteerd. De scenario's zijn ontwikkeld op basis van literatuuronderzoek en interviews met industrie partijen. Bij het opstellen van de scenario's lag de nadruk op groene, duurzame koolstofbronnen. De methodologie sluit scenario's uit waarin een duurzame koolstofchemie in 2050 niet haalbaar lijkt. Dat betekent dus dat de scenario's altijd uitkomen op een situatie waarbij er geen fossiele grondstoffen worden gebruikt. De scenario's zijn voorgelegd aan zowel opdrachtgever als aan diverse marktpartijen. Gebaseerd op hun verdere input zijn de onderstaande scenario's vormgegeven.

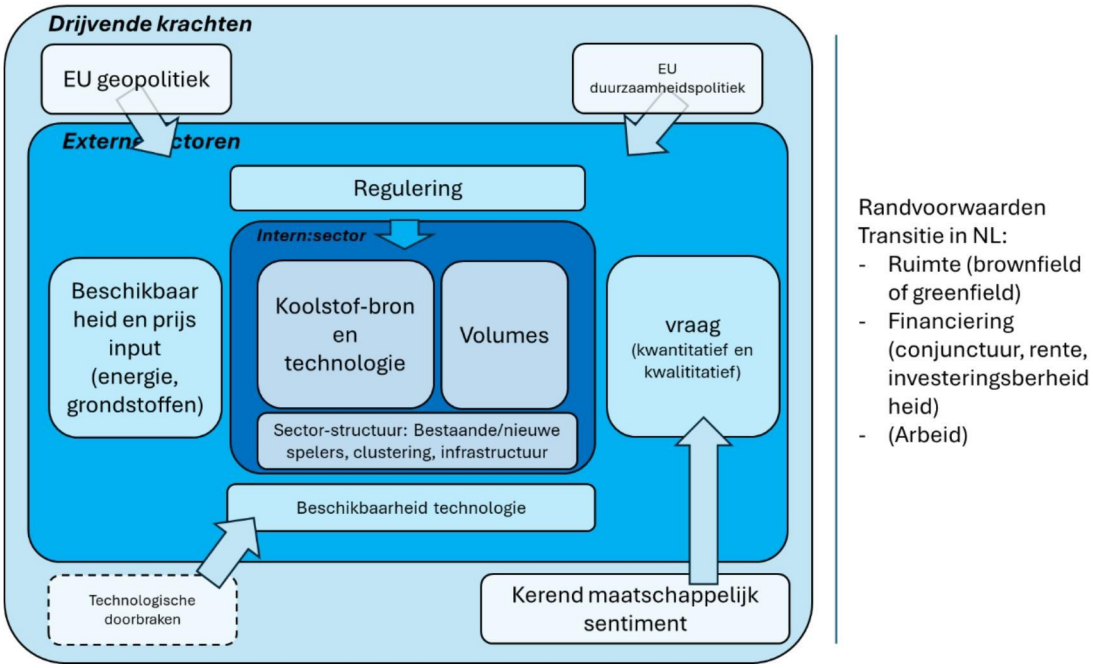
2.1 Hoe zijn de scenario's opgebouwd in het kort

In dit hoofdstuk geven we een korte beschrijving van hoe de scenario's tot stand zijn gekomen. Een kwantitatieve doorrekening van de scenario's en meer over de totstandkoming van de scenario's is te lezen in Appendix 4.

Bij het opstellen van de scenario's hebben we een focus op een duurzame koolstofbron, en we kijken minder naar bijvoorbeeld duurzame waterstofbronnen, en nemen aan dat procesenergie duurzaam is. Onze opdracht was te komen tot scenario's van een duurzame toekomst, daarom hanteren we een methode die scenario's waarin dit in 2050 nog niet het geval is, buiten beschouwing laat. Dat wil niet zeggen dat een langer tijdspad niet plausibel of, gezien vanuit het heden, mogelijk zelfs aannemelijk is.

We hanteren de volgende scenario-logica (in de onderstaande figuur van binnen-naar-buiten), die we hierna in meer detail zullen bespreken:

- Een duurzame koolstofchemie in Nederland heeft een aantal belangrijke eigenschappen, waaronder welke bron (technologie) levert duurzame koolstof, wat zijn de verandering in volumes, wat is de structuur van de sector
- Deze sectoreigenschappen worden door externe factoren bepaald, die de schaal van Nederland overstijgen. Dit zijn factoren zoals kosten van energie, regulering, beschikbare technologie, en vraag in markten
- Om in 2050 een duurzame koolstofchemie te bereiken, moeten deze factoren gunstig zijn voor een snelle omslag. Daarvoor onderscheiden we 4 onderliggende krachten die uit een desk study, interviews en vergelijking met andere transities naar voren komen. In elk van de 4 scenario's domineert een andere drijvende kracht. Ook typeren we nog de transitiedynamiek: is het transitiepad vanuit deze drijvende kracht bijvoorbeeld relatief geleidelijk, of meer schoksgewijs?
- Tot slot vergt de transitie, ook als op Europees niveau de voorwaarden gunstig zijn, nog Nederlandse randvoorwaarden die in elk scenario nodig zullen zijn



Figuur 2.1 Schematische weergave van de drijvende krachten op de koolstofchemiesector en de externe factoren die van belang zijn.

Van drijvende kracht naar scenario's

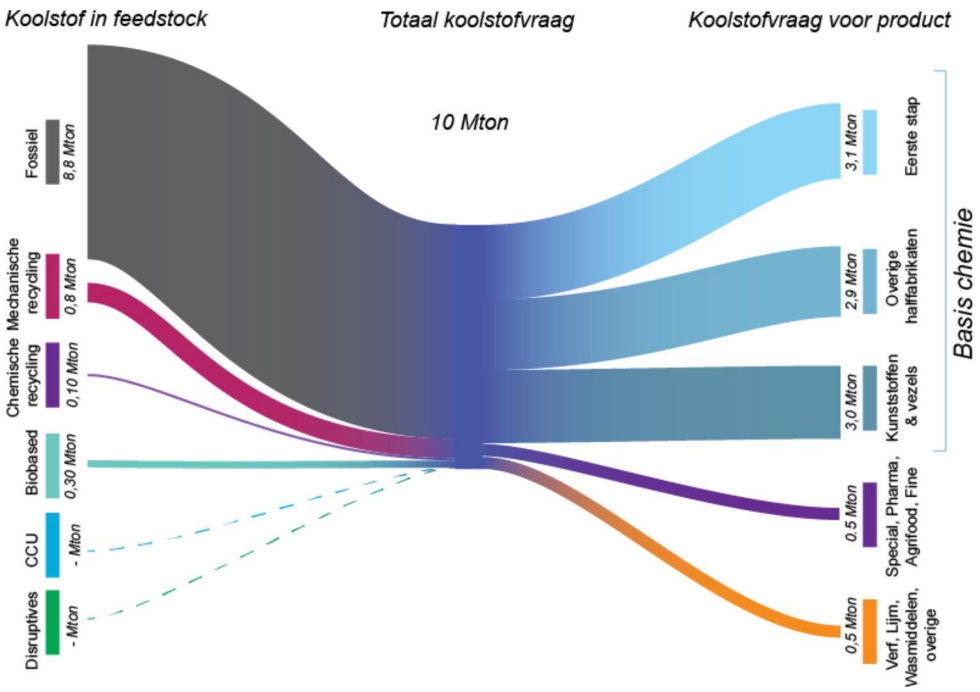
Het meest plausibel is dat alle, of meerdere, van deze drijvende krachten zich sterk voordoen om tot een duurzame koolstofchemie in 2050 te komen. Om een zo compleet mogelijk beeld van mogelijke toekomsten te maken, gaan we voor de scenario's er echter vanuit dat telkens 1 scenario domineert. Daarmee is er niet één van de scenario's het meest waarschijnlijk - want dat is een scenario dat tussen deze 4 in ligt - maar geven de beschreven scenario's de mogelijke richtingen aan. De scenario's in dit rapport moeten dan ook niet worden gezien als voorspellend, maar als "hoeken van de tafel" waarbij de werkelijkheid waarschijnlijk ergens op het tafelblad ligt.

De volgende 5 paragrafen geven het basisscenario (gebaseerd op de huidige situatie zonder wijzigingen) en de 4 uitersten scenario's weer.

2.2 Basisscenario

Het basisscenario beschrijft de huidige staat van de koolstofchemie. Dit scenario wordt alleen gebruikt om de andere scenario's van af te leiden. In bijlage 3 wordt de huidige koolstofchemie uitgebreid beschreven en in bijlage 4 staat een kwantitatieve uitwerking van het basisscenario. Het basis scenario gaat uit van een koolstofchemie waarin de grootste volumes aan chemicaliën gemaakt worden uit nafta dat afkomstig is uit de raffinage van aardolie. De nafta wordt in een kraker omgezet in basischemicaliën, die vervolgens verder worden omgezet naar kunststoffen, halffabricaten, specialty chemicals en lijmen, verven en wasmiddelen.

Het basisscenario is gebaseerd op de productiegegevens van de ComTrade database van de Verenigde Naties[4]. Om te voorkomen dat er dubbeltellingen worden gemaakt van koolstof die van de basischemie via de overige halffabricaten naar bijvoorbeeld specialty chemicals gaat is er alleen gebruik gemaakt van de exporten uit Nederland waar de import van afgetrokken is. Hierdoor is er een klein verlies aan producten die op de Nederlandse markt worden gebruikt. In verhouding met de geëxporteerde tonnages is het gebruik in Nederland niet materieel en daarom buiten beschouwing gelaten. De getallen moeten als indicaties worden gezien omdat de import en export statistieken niet helemaal sluitend zijn en vanwege het ontbreken van de Nederlandse consumptie.



Figuur 2.1 Basisscenario geschatte grondstofstromen

Op dit moment wordt er geen gebruik gemaakt van CCU en is de productieroute via disruptives nihil. Een klein deel van de grondstoffen is biobased. Chemische recycling komt een klein beetje voor en mechanische recycling maakt bijna 10 % uit van de inputs. Het grootste deel van de grondstoffen, bijna 90 % komt van fossiele oorsprong.

Verder is er op dit moment geen of te weinig drijvende kracht om de transitie naar een duurzame koolstofchemie in gang te zetten en tot een situatie te drijven dat er geen fossiele grondstoffen meer worden gebruikt. In geen van de markten voor chemische producten is er bereidheid om op grote schaal de meerprijs te betalen voor producten die hun oorsprong vinden in duurzame grondstoffen.

[4] UN Comtrade

Voor duurzame grondstoffen moet op dit moment 3 à 4 keer zoveel worden betaald als voor grondstoffen uit fossiele oorsprong. Afgezien van spelers in enkele nichemarkten die qua volume weinig voorstellen is niemand bereid de premium te betalen.

Tegelijkertijd heeft de chemische industrie in Europa het zwaar. De energieprijzen zijn in Azië en de Verenigde Staten zijn veel lager dan in Europa. Volgens een van de stakeholders die is geïnterviewd zijn er de afgelopen jaren al enkele van de 40 krakers in Europa gesloten. Er staan er nog meer dan 10 onder review of doorgaan wel zin heeft.

Meer informatie over de structuur van de Nederlandse chemiesector staat in bijlage 3.

2.3 Green deal on steroids

In dit scenario is de grote drijfveer voor transitie de effecten van de klimaatpolitiek en de snel daarop reagerende EU duurzaamheidspolitiek. Onderstaande tekst is een tekstuele weergave van dit scenario.

Na de schade door storm Boris in Midden-Europa en de overstromingen in Spanje in de herfst van 2024, wordt **2025 een nog erger rampjaar voor Europa**. Door heftige regenval in de lente van 2025 en de overstromingen die daarop volgen vallen er duizenden slachtoffers in Frankrijk en Italië, en een stormvloed verwoest aan het einde van het jaar delen van Hamburg, Bremen en de Noord-Duitse kust. Hierdoor slaat de maatschappelijke en politieke stemming om en ontstaat er een ongekend draagvlak voor klimaatadaptatie. **Het interesseert politiek en maatschappij niet hoe CO_2 gereduceerd wordt, als het maar gebeurt.**

Naast dat de energietransitie nog verder wordt versneld zet de EU **in op emissie-gestuurd beleid** , als één van de weinige instrumenten die snel inzetbaar zijn. De al geplande uitfasering van ‘vrije’ ETS-rechten gebeurt binnen 5 jaar. ETS-prijzen en futures lopen exponentieel op. Dit betekent ook dat CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) eerder en scherper wordt ingevoerd. Hoewel dit formeel niet gezien hoeft te worden als protectionistisch leidt het wel tot **tegenmaatregelen in de vorm van importheffingen** door andere geopolitieke blokken, hoewel de EU succesvol met bijv. een aantal Afrikaanse landen bilaterale verdragen sluit en ontwikkelingsgelden inzet als exportsubsidie. Recycling-eisen worden veel minder versterkt omdat de klimaatmitigatie-ambities veel sterker doorwerken dan circulaire ambities, maar **afvalverbranding komt versneld 100 % onder het ETS-systeem**. De druk om de CO_2-uitstoot te verminderen leidt tot veel carbon and storage (CCS) projecten. De EU realiseert zich dat dit uiteindelijk niet leidt tot verduurzaming en gaat sterkt sturen op het verminderen van fossiele input in de chemie.
Tegenover deze ‘stok’ voor de industrie creëert de **EU-miljardenfondsen voor vergroening van industrie** en **versoepelt het staatssteunregels** voor lidstaten om bedrijven ook financieel bij de groene transitie te helpen. De EU creëert ook de fondsen voor **grote publieke infrastructuur voor secundaire grondstoffen** (zoals pyrolyse olie). De verandering zal grote impact hebben op de chemische industrie, maar het snelle tijdspad is voorspelbaar en betrouwbaar, en via CBAM en fondsen wordt concurrentie van CO_2-intensieve import tegengehouden.

Van **2025-2035 loopt Europa voorop in CO_2-beleid**, gevolgd door andere geopolitieke blokken die ook strenger milieubeleid voeren of de low-carbon technologie van Europa overnemen. Daarna ontwikkelt zich een fossielvrije economie zich razendsnel omdat die door alle financiële druk op CO_2-emissies goedkoper blijkt. Daarnaast worden fossiele grondstoffen snel duurder omdat er minder olie gewonnen wordt omdat de vraag vanuit brandstoffen afneemt.
De aardolierafinagecapaciteit neemt af en er komt daardoor een tekort aan nafta als input voor de krakers.

2.3.1 Effect op bedrijfseconomische factoren

In dit scenario voorzien we de volgende directe omgeving voor de Europese chemische industrie:

- Energieprijzen worden zeer hoog door hoge ETS-prijzen
- Hierdoor wordt ook de vraag naar groene energie versterkt, en neemt de vraag naar fossiel van nature af
- Er is aanzienlijke frictie in handel van EU met rest van de wereld door CBAM en tegenmaatregelen
- De relatieve voorspelbaarheid van sterk EU-beleid, en vrijheid om aan ETS-verplichtingen te voldoen zonder dat technologie wordt voorgeschreven, en grote publieke R&D-fondsen leidt tot grote ontwikkelingsinvesteringen om technologie die op pilotschaal al in de markt is, op te schalen
- Relatief stabiele Europese vraag naar chemische producten, hoewel er ook grotere materiaal-efficiëntie zal zijn (bijv. met minder kunststof hetzelfde product) en voor sommige toepassingen natuurlijke materialen goedkoper zullen zijn (bijv. meer gebruik papier, hout en isolatiemateriaal uit andere bronnen). De exportmarkt vanuit de EU is echter beperkt.
  De totale vraag naar basischemicaliën krimpt dus
- Eenvoudige import van biobased materialen wordt mogelijk gemaakt
- Publieke steun zorgt voor gunstige kapitaalvoorwaarden. (Lange looptijden, lage rentes of zelfs subsidies) en is het mogelijk nieuwe pijpleidingennetwerken aan te leggen (of te renoveren)
- Ruimte komt vrij doordat CO_2 intensieve installaties vervroegd worden afgeschreven, maar tijdelijk is er wel grote behoefte aan ruimte (bijvoorbeeld omdat nieuwe plants worden gebouwd, terwijl de oude nog doordraaien en er ruimte moet gecreëerd voor de feedstock van bijvoorbeeld pyrolyse)

2.3.2 Effect op de chemische sector

Technologisch wordt de sector gedreven naar **low carbon opties** die al hoge mate van **technologische beschikbaarheid kennen en kosteneffectief zi**jn. Zeker in de beginperiode **speelt CCS een belangrijke** rol, maar ook alle vormen recycling wordt ook zonder strenger specifiek beleid financieel aantrekkelijk. Dit komt omdat niet alleen CO_2-emissies tijdens productie, maar emissies in de afvalverbranding betreft. Hierdoor hebben lokale overheden en afvalbedrijven **sterke incentives tot meer recycling**. Dit betekent ook dat er in eerste instantie fossiele **import blijft**, die vervolgens over de hele keten (productie en afvalverbranding) gekoppeld wordt aan CCS.

Ook chemische recycling wordt snel **kosteneffectief** en er kan een publieke infrastructuur worden opgezet, bijv. om nieuwe secundaire halffabricaten (zoals pyrolyse-olie) en de feedstock van chemische recycling effectief te verplaatsen. **Biobased opties worden ook competitief**, bijvoorbeeld drop-in substitutie voor kunststoffen schaalt op, en PLA wordt in prijs langzaam competitief met PP en PE.

Omdat Europa een koploper is, via CBAM afgeschermd, wordt in zeker in de eerste decennia **Europa een eiland wat betreft afzetmark**t. Dit betekent ook dat **energie-intensieve begin** van de keten **(**bijv. kraken) **in Europa zal blijven** (immers import is door CBAM niet goedkoper). **Niet-Europese multinationals** met beperkte aanwezigheid in Europa **trekken zich terug**, maar **de nieuwe industrie** wordt gedomineerd door **de huidige grote chemische spelers**, die als enige snel genoeg kunnen opschalen. Omdat de chemische commodity's/**bouwstenen hetzelfde blijven**, verandert er voor partijen verder naar achteren in de keten weinig (behalve minder competitief worden in mondiale exportmarkt). Later als low carbon de norm wordt, heeft Europa juist een **competitieve voorsprong** met grootschalige productie en kan daardoor sterk groeien, ook door elders in de wereld productiecentra op te zetten.

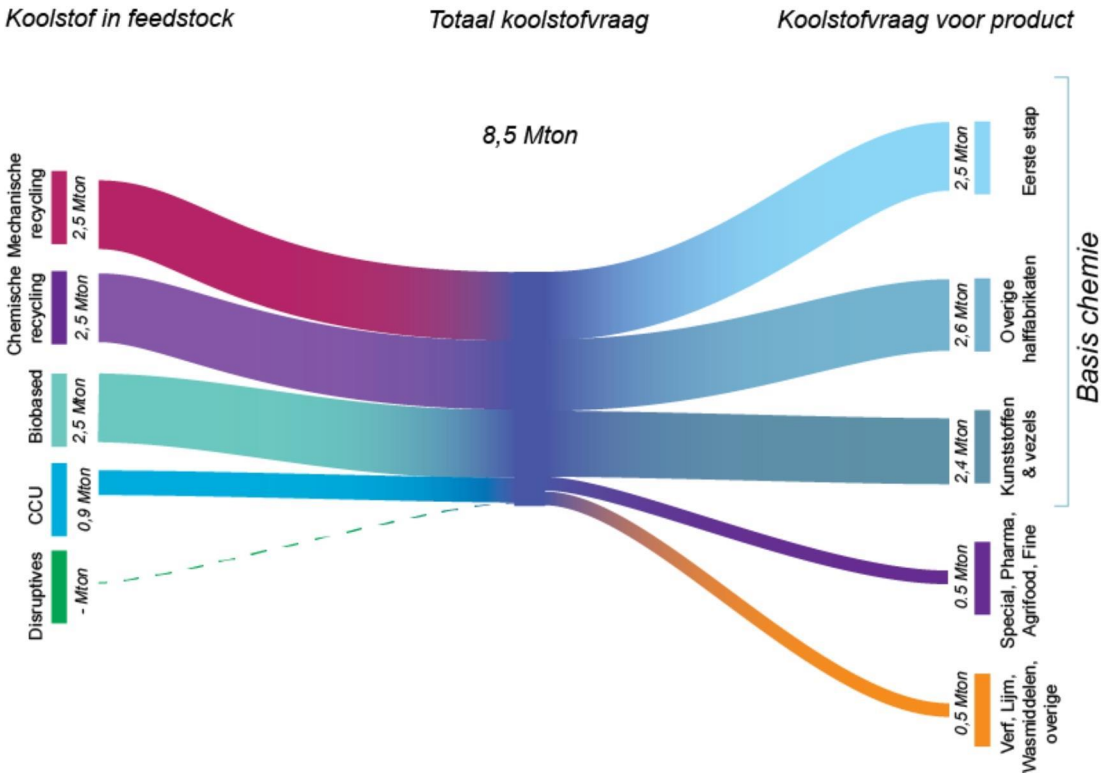
Binnen Europa ontstaan er 2 races: **individuele bedrijven staan voor de opgave snel te vergroenen**, waarbij nieuwe assets gunstige financiering krijgen, maar bestaande assets versneld afgeschreven worden. Bedrijven die te laat omschakelen worden geconfronteerd met de hoge ETS-prijzen. Tegelijk beseffen **lidstaten** dat de totale afzetmarkt kleiner wordt, en er ook een race komt **welke clusters behouden blijven**. Lidstaten zoeken naar manieren om bottlenecks op te lossen (bijvoorbeeld in beschikbare (milieu)ruimte, technisch personeel, financiering et cetera). **Lidstaten voor wie industriële werkgelegenheid belangrijk is, negeren belemmerende milieuregels op bijvoorbeeld stikstof en de eisen aan waterkwaliteit**, en de EU gedoogt dit.

2.3.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland

Nederland zal in deze race tussen lidstaten mee moeten, en heeft weliswaar vanwege **de unieke positie in de ARRRA-regio** en nabijheid van lege gasvelden op de Noordzee, een voorsprong, maar moet die wel zien te behouden in een bestuurlijk-maatschappelijke omgeving waar procedures lang duren, een tekort aan technisch geschoold personeel is en alle vormen van ruimte beperkt is. Een grote uitdaging is dat een ongeleide, gefragmenteerde transitie is, waarbij voor bijv. gedeelde infrastructuur een nationale/bilaterale uitdaging is.
Over een periode van 10 jaar zal de fossiele industrie worden afgebouwd. Dit is een klap voor Nederland waar veel raffinage plaats vindt. Maar ook uitdagend omdat er in dit scenario een periode van schaarste zal ontstaan. Tegelijkertijd met afschalen wordt er begonnen met het opschalen van andere niet fossiele productietechnieken. Biobased chemie die drop-in grondstoffen maakt kan vermoedelijk sneller opschalen dan recyclingtechnieken. Dit omdat kraakinstallaties omgebouwd kunnen worden naar krakers die draaien op bio-ethanol of plantaardige olie. Na 10 jaar is die omschakeling compleet. 15 jaar na het afschalen is de mechanische recycling opgeschaald en 20 jaar na het afschalen is er voldoende chemische recyclingcapaciteit.

2.3.4 Eindsituatie in dit scenario

Onderstaand figuur en tabel geven de eindsituatie aan als de transitie naar duurzame koolstof voltooid is. Achterliggende uitgangspunten over het tot stand komen van het figuur en de tabel staan in bijlage 4.



Figuur 2.2 Geschatte materialen stroom scenario Green deal on steroids. Door afrondingen kunnen er kleine 'telverschillen' ontstaan

Figuur 3.2 geeft weer hoe de koolstofstromen in het jaar 2050 eruit zouden zien in dit scenario. Zoals zichtbaar is in de figuren, krimpt de totale koolstofvraag ten opzichte van het basisscenario zoals in Figuur 3.1 is weergegeven. Dit komt vooral omdat de export naar landen buiten Europa stilvalt.

2.3.5 Hoe kondigt het scenario zich aan

Uit de gesprekken bleek dat het scenario zich zou kunnen aankondigen door een toenemende instabiliteit van het klimaat. Denk aan toenemende lokale regenval, aanhoudende droogte en het toenemen van hitte in de zomer. Ook is zichtbaar dat de kosten bij het herstellen van de instabiliteit significant toenemen en dat de gevolgen zichtbaarder worden, denk aan droogte. Burgers van de EU vragen om maatregelen om de leefbaarheid van gebieden te verhouden en verzekeringsmaatschappijen en investeerders vragen om klimaatmaatmaartegelen om zo hun investeringen veilig te stellen.

2.3.6 Welke acties moeten er genomen worden en randvoorwaarden

Om tot dit scenario te komen is het van belang dat er een aantal acties worden uitgevoerd. De overheid moet eerder investeren in bijvoorbeeld de benodigde opslagcapaciteit en infrastructuur en de maatschappij voorbereiden op de veranderingen die komen. Dit kan door:

- Chemische recyclingfabrieken en mechanische recyclingfabrieken moeten in dit scenario worden opgeschaald, waar mogelijk kun je nu al vergunningen in samenspraak met bevoegde gezagen en bedrijven aanpassen, zodat wanneer er snel opgeschaald moet worden dit niet vertraagd wordt door vergunningsprocessen. Het vergunningsproces moet ook in zijn algemeenheid worden geoptimaliseerd omdat dit nu een risico verhogende factor is bij vestiging van nieuwe bedrijvigheid
- Import van de feedstocks, zowel biogrondstoffen als (plastic)afval moet worden opgeschaald. De hoeveelheden op de Nederlandse markt zijn immers bij lange na niet genoeg. Bedrijven en overheden moeten hiervoor grondstoffendiplomatie ontwikkelen
- Focus op een goed inzamelsysteem van deze volumineuze stromen zodat de feedstock beschikbaar is, wanneer nodig. In dit scenario moet er snel opgeschaald worden. De overheid doet er wijs aan om op korte termijn ruimte te reserveren voor milieubelastende activiteiten als recycling en opslag van volumineuze stromen, wanneer deze ruimte al gereserveerd is, sta je goed gesteld als er snel keuzes gemaakt moet worden. Geadviseerd wordt om dit op al bestaande plekken te zoeken waar al milieuruimte beschikbaar is en waar deze ‘natuurlijk’ beschikbaar komt, bijvoorbeeld door een herontwikkeling of een faillissement van een bedrijf. Zo botst dit minder met alle andere ruimtevragen
- De winstgevendheid van de chemie wordt een uitdaging als dit scenario uitkomt.
  De chemiesector heeft het op dit moment al zwaar en iedere extra stijging van kosten van energie en grondstoffen kan ervoor zorgen dat de businesscase voor het bedrijven van een fabriek negatief wordt. Vanuit een financieel oogpunt zal de productie dan na verloop van tijd worden stopgezet. Het is van belang dat de overheid dit zich realiseert en hier met durf naar handelt door nu al na te denken over welke partijen in deze situatie worden ondersteund, en welke partijen niet door de overheid worden ondersteund. Zo kan iedere partij zich alvast voorbereiden. Het is van belang dat Europese fondsen effectief kunnen samenwerken om de benodigde middelen bij elkaar te brengen. De benodigde investeringen in opwerken van biobased materialen en recycling van (plastic)afval zijn zo groot dat verschillende overheidspartijen (risicodragend) zullen moeten investeren om samen met de markt de financiering rond te krijgen

2.3.7 Conclusies

Dit scenario valt of staat met een overheid die duidelijkheid schept over hoe de transitie er uit gaat zien. Tijdens de transitie blijft de (Europese) overheid voortdurend aan de bal en stuurt bij met dwingende wetgeving. Veel van de veranderingen die nodig zijn hangen samen met de mogelijkheid om snel nieuwe bedrijfsprocessen op te zetten of aan te passen. Financiering van de transitie is belangrijk. Speciaal voor Nederland zijn de vestigingsfactoren van belang, en de ruimte die vrijgemaakt kan worden voor de volumineuze grondstoffen. Daarnaast is het verkrijgen van voldoende grondstoffen uit het buitenland van belang.

2.4 Plastic Panic

In dit scenario is de grote drijfveer voor transitie onrust in de samenleving over de gezondheid van plastics. Dit verandert de vraag naar plastics. Hieronder wordt een samenvatting van het scenario gepresenteerd.

In 2025 en 2026 verschijnen steeds meer wetenschappelijke studies die wijzen op **serieuze gezondheidsimplicaties van microplastics voor mensen**. Dit leidt aanvankelijk tot onrust onder experts en een klein deel van de betrokken bevolking. In 2026 komt er echter een **goedkope wegwerptest** op de markt om microplastics in het bloed te meten. Waar in 2022 nog een laboratorium nodig was voor deze metingen, kan nu iedereen de test uitvoeren. **Op social media ontstaat een storm van aandacht**; mensen delen hun testresultaten en verhalen over hoge waarden en ernstige gezondheidsproblemen, vooral bij kinderen. Het probleem van microplastics breekt uit zijn bubbel naar hele **brede groepen in de samenleving**. Politici van vrijwel alle partijen in alle **lidstaten proberen hierop in te spelen**. Daarnaast ontstaat er discussie over de effecten van microplastics op flora en fauna.

Traditionele kunststoffen en andere producten van organische chemie worden steeds meer als **onacceptabel** gezien, te beginnen bij toepassingen met de grootste kans op slijtage. Deze **negatieve perceptie breidt zich uit** naar andere kunststoffen en fossiele chemische producten. Consumenten en bedrijven eisen **biologisch afbreekbare kunststoffen** en **substitutie (papier, hout, etc.).** Maar in een maatschappelijk en politiek gefragmenteerd landschap blijft er ook een aanzienlijke groep die blijft vasthouden aan traditionele kunststoffen die de onrust als onzin afdoet. Hierdoor splitst de Europese markt in 2, waarbij **consumenten producenten dwingen partij te kiezen.** De Europese politiek is ook gefragmenteerd en komen **nauwelijks met aanvullend beleid**. Op termijn volgt de EU wel het maatschappelijk sentiment en **dwingt af dat afbreekbare kunststoffen de norm zijn en dat die stoffen niet in het menselijk lichaam mogen komen.**

2.4.1 Effect op bedrijfseconomische factoren

In dit scenario voorzien we de volgende directe omgeving voor de Europese chemische industrie:

- **Energieprijzen in Europa blijven relatief** hoog, maar stijgingen zijn beperkt omdat de drijver niet op CO_2 zit
- Er blijft **een open markt met de rest** van de wereld; import van biomassa en halffabricaten kan zonder veel frictie, maar de Europese **industrie blijft in een moeilijke positie**
- De rol van de EU in beprijzen en regelgeving is beperkt, dit is een **vraag gedreven scenario**
- De Europese **afzetmarkt krimpt sterk door de negatieve houding** van consumenten ten opzichte van kunststoffen en fossiele chemische producten (bijv. coatings/verf), met een sterke voorkeur voor alternatieven
- Totdat de EU reguleert, **fragmenteren markten voor verschillende consumentengroepen**. Daarna wordt gebruik van **traditionele kunststoffen beperkt** tot toepassingen waar veiligheid en levensduur van belang zijn niet door andere materialen kunnen worden vervangen (bijvoorbeeld bekabeling, chemicaliënopslag)

2.4.2 Effect op de chemische sector

De vraag naar alternatieve koolstofbronnen en de eis van natuurlijke afbreekbaarheid **leidt tot een verschuiving in commodities**. Petrochemische bouwstenen en polymeren kunnen soms biologisch afbreekbaar worden gemaakt, maar dit resulteert paradoxaal in minder macroplastics en meer microplastics. Dit biedt ruimte voor **biobased commodities** die biologisch afbreekbaar zijn.

In dit scenario is **het uitdagend** om in Europa, en dus Nederland, **de energie-intensieve** eerste stap in de keten te **behouden**, omdat nieuwe industrieën die commodities maken **sterke voordelen hebben zich buiten Europa** te vestigen (grondstoffen, energieprijzen, arbeid). Dit leidt tot verplaatsing van activiteiten buiten Europa. Dit zorgt voor schokken in de gehele keten. **Het vertrek van een deel van de industrie laat wel meer ruimte voor nieuwe spelers**, ook omdat bestaande spelers wellicht te lang de analyse hebben dat de gekte wel overwaait en vooral de traditionele markt gaan bedienen.

Chemisch recyclen raakt in een vlucht omdat de combinatie tussen oude plastics en nieuwe biodegradable plastics niet tot een hoge kwaliteit plastics leidt. Met chemisch recyclen is het wel mogelijk om de verschillende soorten plastics te recyclen. Maar door de hoge energieprijzen blijft de prijs van pyrolyse olie en de producten die daarvan gemaakt worden hoog.

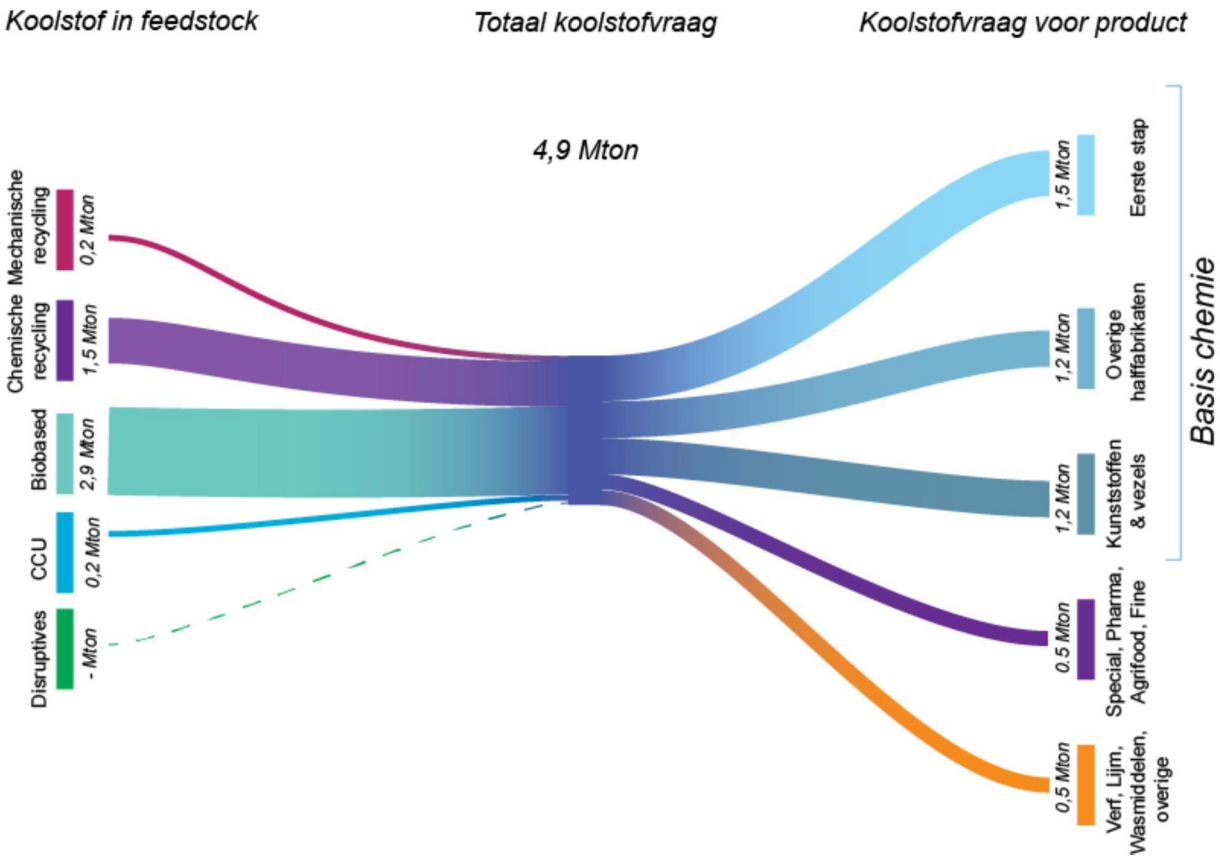
In dit scenario blijft in Europa hoogwaardige chemie behouden, maar worden chemische bouwstenen in toenemende mate geïmporteerd. Certificering en handel in nieuwe commodities kan wel behouden blijven.

2.4.3 Randvoorwaardelijke uitdaging en knelpunten in Nederland

Speciaal voor Nederland met haar kleine landoppervlak is het verkrijgen van voldoende biogrondstoffen lastig. In dit scenario zijn er daarom **grote uitdagingen** om de autonome uitfasering van energie-intensieve eerste stappen in de chemische ketens te beheersen en te **voorkomen dat volgende schakels verder naar buiten Nederland en Europa verschuiven**. Dit vermindert ook de ruimtedruk en de druk op technisch personeel, waardoor er ruimte ontstaat voor nieuwe hoogwaardige industrie op de locaties van oude industrie. Nederland kan de huidige sleutelrol in **fossiele import van aardolie behouden** door de import van buiten Europa van chemische bouwstenen. Dit vraagt bijvoorbeeld veel meer **gedifferentieerde op- en overslagfaciliteiten** en uitbreiding van bestaande chemische tankparken. **Bestaande of nieuwe pijpleidingen** kunnen worden gebruikt om nieuwe chemische bouwstenen naar het achterland te **transporteren.**

2.4.4 Eindsituatie in dit scenario

Onderstaand figuur en tabel geven de eindsituatie aan als de transitie naar duurzame koolstof voltooid is. Achterliggende uitgangspunten over het tot stand komen van het figuur en de tabel staan in bijlage 4.



Figuur 2.3 Geschatte materiaalstromen scenario Plastic Panic

De koolstofvraag in dit scenario is ongeveer gehalveerd. Dit komt vooral door substitutie van plastic door andere materialen die niet door de chemische sector worden geproduceerd. Denk aan papier of glas. De krimp in de financiële omzet is minder groot omdat vooral de duurdere chemie stromen zoals lijm en pharma in Nederland gemaakt blijven worden.

2.4.5 Hoe kondigt het scenario zich aan

Er zijn 2 punten die dit scenario kunnen voorspellen: Er is een toenemende focus in de maatschappij op de veiligheid van stoffen in het algemeen. En wetenschappelijk onderzoek laat steeds duidelijker zien dat de effecten van micro plastics en chemicaliën op de gezondheid negatief en groot zijn. In een iets later stadium ontstaat een focus op normerend beleid in plaats van beleid dat stuurt op CO_2-emissies zoals in het voorgaande scenario.

2.4.6 Welke acties moeten er genomen worden

- Van belang om onrust serieus te nemen en het gesprek aan te gaan. Wanneer onrust serieus genomen wordt kan er vanuit vertrouwen gehandeld worden om te zien welke stappen er nodig zijn om de risico's over de materialen weg te nemen. Door onrust weg te nemen, is het mogelijk om de vraag minder snel te laten krimpen

- In dit scenario zal er meer aandacht zijn voor safe and sustainable by design. Zorg dat dit concept nu al zo veel mogelijk wordt meegenomen bij het ontwikkelen van nieuwe processen. Dit vergt aandacht voor dit concept in zowel opleidingen als in het bedrijfsleven
- In dit scenario worden er normen afgedwongen die gaan over de eigenschappen van de te produceren plastics. Bij het opstellen van deze normen is het van belang om ook rekening te houden traceren van het gebruik van de grondstoffen zelf, en de handhaving van deze normen. Dit betekent dat de instituten capaciteit moeten hebben om normen te ontwikkelen, maar ook dat er voldoende capaciteit moet zijn bij instellingen die materiaaleigenschappen controleren en bij partijen die handhavend kunnen optreden mochten eisen niet gehaald worden
- In dit scenario bestaat de grootste feed stock uit biobased materiaal. Dit vraagt om veel ruimte in Nederland, Europa maar ook buiten Europa. Het transport en opslag van biobased materialen vraagt om infrastructuur die met een groter volume om kan gaan dan wanneer er alleen fossiele grondstoffen worden getransporteerd. Niet alleen is de koolstofdichtheid lager maar er zal ook een grotere diversiteit aan producten zijn (vast & vloeibaar). Het is van belang om de infrastructuur nu al te gaan voorbereiden op deze eisen
- Om biobased materialen via de huidige infrastructuur te verwerken is een veel groter volume aan waterstof nodig. Hier moet dus capaciteit voor worden ontwikkeld. Dit komt omdat waterstof nodig is om pyrolyseolie te upgraden. Als de productie van chemicaliën meer verschuift naar processen waarbij de zuurstof wordt behouden valt deze waterstofvraag steeds meer weg
- Om alles uit de beperkte productie biobased in Nederland te halen is het waard te onderzoeken hoe er extra waarde uit bestaande biobased industrieën gehaald kan worden, zoals de land en akkerbouw, de kassen en de visserij en hoe reststromen uit deze industrieën ingezet kunnen worden voor een mogelijke chemietransitie. Vooral hoogwaardige inzet waarbij de beschikbare biomassa direct wordt omgezet in hoogwaardige eindproducten moet hierbij de focus hebben
- Voer op korte termijn een verkenning uit naar de hoeveelheid biobased materiaal dat in Nederland beschikbaar is, en beschikbaar kan komen en onderzoek hoe dit gebruikt zou kunnen worden voor de chemietransitie
- RIVM doet nu al onderzoek naar biobased producten en veiligheid. Stimuleer deze onderzoeken en deel actief deze kennis met partijen die biobased chemicaliën maken

2.4.7 Conclusies

Dit scenario leidt tot een schoksgewijze aanpassing van de chemische sector op de verandering in vraag. De sterke focus op biobased maakt dat Europa en speciaal Nederland niet in de lead zijn voor de productie van de basisgrondstoffen. Daardoor verdwijnt de eerste stap basischemie grotendeels uit Nederland. Dit beidt echter wel ruimte om meer te specialiseren op de latere stappen. Hierdoor is de financiële krimp in de sector minder groot dan de krimp in het volume.

2.5 Geïsoleerd Europa

De drijfveer in dit scenario is een verschuiving in geopolitieke belangen die de focus legt op zelfvoorzienendheid. Door een verandering op geopolitiek niveau breekt er **ongekende handelsoorlog** uit met de Verenigde Staten, omdat niet alleen China maar een hele reeks landen volgens de Amerikanen oneerlijk handelen. Hierdoor komt Europa onder druk te staan door productdumping op de Europese markt. Hierdoor wordt Europa gedwongen mee te gaan in de handelsoorlog. Incidenten met olietankers tussen de VS en EU, die onder mysterieuze omstandigheden zinken, zorgen voor stijgende verzekeringspremies en gedwongen begeleiding in konvooien.

Europa beseft dat het in een crisis van sancties en onveilige zeereizen terechtkomt, en moet zelfvoorzienende worden. Daarom vormt het een sterk **afgeschermde markt met hoge energieprijzen en richt het zich op behoud van koolstof in Europa.**

2.5.1 Effect op bedrijfseconomische factoren

De bedrijfseconomische factoren veranderen en daardoor zien we in dit scenario de volgende effecten:

- **Bestaande technologie wordt verder ontwikkeld**
- Exportmarkt valt weg en hierdoor wordt de **totale vraag gereduceerd**
- Er is veel **concurrentie van niet chemische substitutie** zoals hout/paper
- Veel **investeringsbereidheid om zelfvoorzienend te worden**, hierdoor keert sommige productie terug naar Europa
- Er wordt sterk geïnvesteerd in technologieën die als vervanging van niet-Europees fossiel kunnen dienen

2.5.2 Effect op sector

In dit scenario domineren alle **mogelijke vormen van recycling**, waaronder chemische recycling. En net als in het vorige scenario blijven huidige commodities bestaan. Om de toch onvermijdelijke verliezen uit de kringlopen te compenseren, worden **verschillende bronnen die beschikbaar zijn in Europa ingezet**: vooral biogebaseerd materialen, maar ook **beperkt fossiel vanuit Europa zelf (gekoppeld aan** CCS) en het restafval wordt zoveel mogelijk ingezet om het tekort aan koolstof aan te vullen.

Omdat Europa onmogelijk volledig zelfvoorzienend kan worden, blijft er **import van ruwe aardolie en aardgas bestaan,** waarbij grote, streng beveiligde buffers noodzakelijk zijn. De EU legt fabrikanten echter **dwingende quota** op in gebruik van Europese grondstoffen om de zelfvoorzienendheid te vergroten.

De transitie verloopt als een plotselinge **geopolitieke crisis**, waarop de chemische sector zal moeten reageren. Petrochemische clusters vormen zich om tot **meer diverse clusters** waar ook veel chemische recycling en vooral verwerking van **bijvoorbeeld pyrolyse olie** tot hoogwaardige productie plaatsvindt. Daarnaast komen er meer regionaal verspreid secundaire clusters die mechanische recycling en simpelere chemische recycling doen.

2.5.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland

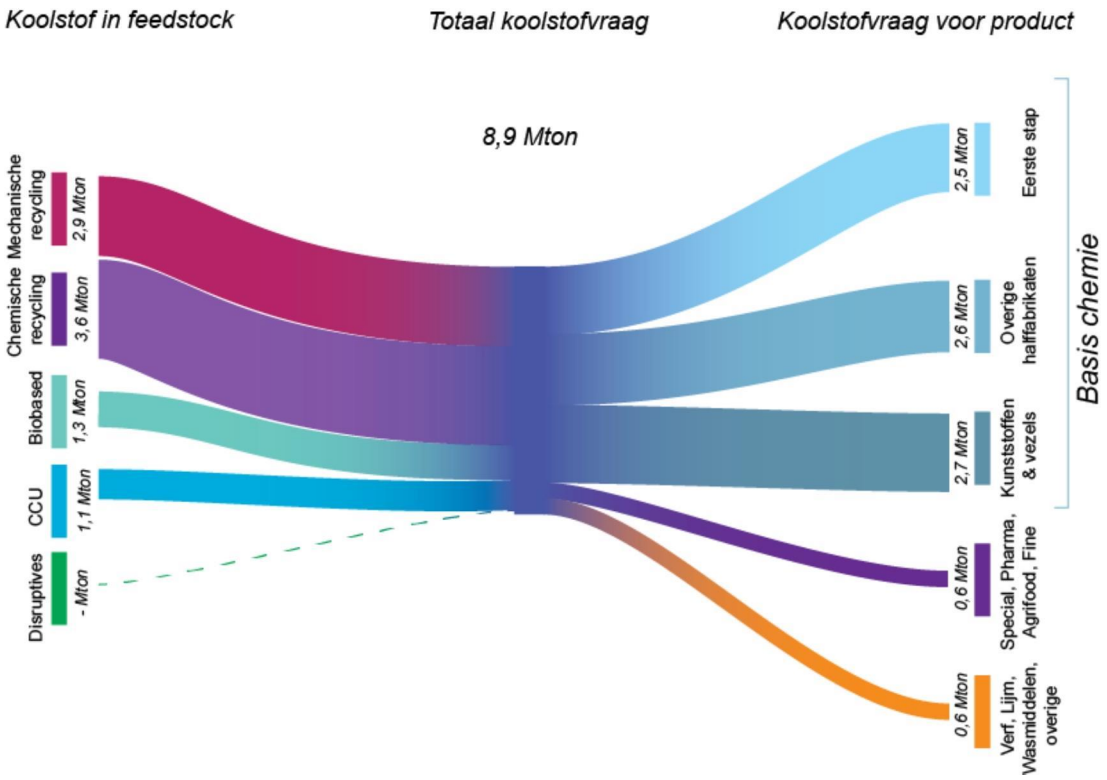
Als import sterk terugloopt**, verandert de architectuur van het netwerk** van **chemische productie en distributie dramatisch** (vergelijkbaar met bijv. omvorming van elektriciteitsnetwerken). Grootschalige clusters zijn nog steeds noodzakelijk, maar liggen niet noodzakelijkerwijs bij **zeehavens**. Naast het huidige grote 'achterland', zijn er ook enorme 'voorlanden' nodig om voldoende secundaire grondstoffen te verzamelen voor die grootschalige grondstoffen. Dit legt veel druk op de **huidige vergunningsstelsel** en leid tot veel **weerstand onder omwonenden** van de aangewezen plekken. En de omschakeling naar een ander soort industrie moet onder crisisomstandigheden. **Afscherming van de markt maakt behoud van energie-intensieve industrie makkelijker** (al betekent die afscherming ook hogere energieprijzen), maar het bemoeilijkt ook export van hoogwaardige chemische producten naar buiten de EU. Europees en Nederlands beleid gericht op het behouden van de industrie kunnen leiden tot minder nadruk op fossielvrij. Als niet gestuurd wordt op een fossielvrije Nederlandse industrie dan wordt een fossielvrije chemie niet gehaald in 2050 in dit scenario.

2.5.4 Effecten op de chemische industrie in Nederland

In dit scenario neemt de vraag af, maar minder dan in voorgaande scenario's. Dit komt omdat de afzetmarkt voor de chemicaliën veranderen naar een mondiale afzetmarkt naar een meer eurocentrische afzetmarkt. De export van Nederland gaat nu tenslotte al voor zo'n 80% naar Europa. Door tekorten aan grondstoffen en daardoor hogere prijzen zal er zo veel mogelijk worden geprobeerd om meer met minder te doen.
Door het snelle wegvallen van fossiele grondstoffen moet er snel opgeschaald worden.
De Nederlandse industrie is zich de afgelopen jaren gelukkig al aan het voorbereiden op het gebruik van afval als feedstock. Omdat de focus ligt op het produceren voor eigen Europa en het ook nodig zal zijn om het eigen afval te verwaarden, zal er gefocust worden op het opschalen van mechanische recycling en chemische recycling van kunststof- en restafval. Biobased heeft minder de voorkeur omdat het voldoende opschalen van biobased materiaal veel ruimte kost wat niet voorradig is in Nederland. Op andere plekken in Europa zijn er meer biogrondstoffen beschikbaar die ingezet kunnen worden als grondstof. Het is echter niet voor de hand liggend dat de eerste omzetting van biomassa naar chemicaliën in Nederland plaats vindt. Dit zal dichter bij de productie van de biogrondstoffen plaats vinden om logistieke kosten te besparen. Mechanische recycling zal het eerste opschalen. Daarna volgt chemische recycling voor de basischemicaliën. Hiervoor is een grotere capaciteit aan waterstofproductie nodig. Nederland heeft goede positie voor het opschalen van deze industrieën omdat dit grotendeels kan worden ontwikkeld op al bestaande locaties, en havens stellen ons in staat om grote hoeveelheden Europees materiaal op te slaan en in te zamelen. Deze infrastructuur moet deels nog wel gebouwd worden.
Basischemicaliën gemaakt met chemische recycling kunnen in bestaande chemische infrastructuur worden getransporteerd.

2.5.5 Eindsituatie in dit scenario

Onderstaand figuur en tabel geven de eindsituatie aan als de transitie naar duurzame koolstof voltooid is. Achterliggende uitgangspunten over het tot stand komen van het figuur en de tabel staan in bijlage 4.



Figuur 2.4 Geschatte materiaalstroom scenario geïsoleerd Europa

In dit scenario nemen zowel het volume als de financiële omvang van de chemiesector licht af. Door de focus op zelfvoorzienendheid gaat recycling een zeer groot deel uitmaken van de feedstocks. Dit wordt aangevuld met biobased materialen. CCU gaat een kleine rol spelen omdat energiekosten hoog zijn. Alleen als een overschot is aan duurzame energie waardoor de prijzen even laag zijn is CCU aantrekkelijk.

2.5.6 Hoe kondigt het scenario zich aan?

Belangrijke voorspellers zijn van dit scenario zijn:

- Een relatie met andere continenten en landen die minder is gericht op samenwerking
- Toename van protectionistisch denken in Europa
- Een verzwakte industrie waardoor de kwetsbaarheden meer naar voren komen
- Een verstoring in de supply chain, (bijvoorbeeld door uitvallen fabriek of Suez kanaal dat dicht is) waardoor er tekorten ontstaan en kwetsbaarheden naar voren komen

Let op: Sommigen geïnterviewden gaven aan dat dit scenario tot op zekere hoogte al realiteit is.

2.5.7 Welke acties moeten er genomen worden

- Sturend beleid van uit Europa waarop de industrie kan anticiperen is in dit scenario wenselijk. De hoofdkeuzes worden in dit scenario op Europees niveau gemaakt. De stuurmogelijkheden op nationaalniveau zijn kleiner

- Nederland moet zich richten op de recyclingfunctie voor Nederland en de omliggende landen. Nederland wordt dan centrum voor chemische recycling. We hebben hier een voorsprong door de bestaande infrastructuur die bestaat uit waardevolle clusters. Door de ligging aan zee (Rotterdam, Amsterdam en Delfzijl). Kan transport van het volumineuze inputmateriaal mogelijk worden gemaakt. Hiervoor moet wel geschikte infrastructuur komen. Denk hierbij aan spoorwegen vanaf de haven naar de chemische recyclinglocaties, maar ook aan voldoende opslagcapaciteit in de havens. Voor de producten uit de chemische recycling kan er gebruikt worden gemaakt van huidige chemische infrastructuur (opslag en transport via buisleidingen)
- Er moeten ook biobased grondstoffen worden verkregen. Het ligt echter niet voor de hand dat die grondstoffen uit Nederland komen. De eerste bewerkingsstap van grondstof naar basischemicaliën vindt naar verwachting niet in Nederland plaats, maar elders in Europa. Het is wel van belang om infrastructuur te ontwikkelen om de basischemicaliën uit biogrondstoffen naar Nederland te kunnen transporteren en hier te kunnen opslaan
- Dit scenario vraagt om uitleg aan consumenten in Europa die tijdelijk of voor een lange tijd producen moeten missen omdat de productie in Europa nog niet voldoende op gang is gekomen. Ook bij de inzameling van afvalstromen spelen consumenten een belangrijke rol. Actief informeren van consumenten is daarbij cruciaal
- Bied mogelijkheden tot versnellen van het bouwen van infrastructuur voor alternatieve koolstofbronnen en bijbehorende technologieën. Dit betekent dat energieaansluitingen nodig zijn en dat het vergunningenproces moet worden versneld
- Investeer in verbetering van inzameling en verwerking van plastic (huisafval) en restafval. Dit kan in het huidige systeem alleen als inzameling financieel haalbaar is. Overweeg dus om recycling en recycling activiteiten goedkoper de maken (eventueel via het belastingstelsel) hierdoor wordt ontwikkelen van recycling nu al financieel haalbaar en kan er in tijden van crisis worden opgeschaald doordat er al infrastructuur is en benodigde kennis er ook al is
- Onderzoek welke industrieën het belangrijkst en meest essentieel zijn voor Europa en NL en maak gebaseerd daarop keuzes welke industrieën een eerste keus hebben op grondstoffen wanneer er een tekort is ontstaan. Kijk hier verder dan alleen de chemie, denk ook aan brandstof, bouw en landbouw. Maak deze prioritering van tevoren bekend, zodat alle partijen weten waar zij aan toe zijn er dus kunnen anticiperen
- Investeer in chemische industrie zoals pharma, specials en fine waar minder grondstoffen voor nodig zijn en waar tegelijkertijd veel waarde wordt toegevoegd. Dit leidt tot de meeste financiële waarde en dat maakt Nederland financieel minder kwetsbaar
- Investeer daarnaast in chemische industrie die een hoge strategische waarde heeft, enerzijds vanuit grondstoffen perspectief, het voorkomen van afhankelijkheid van regimes waar we niet afhankelijk van willen zijn, maar ook vanuit afzet perspectief, het leveren van producten met mondiaal belang

2.5.8 Conclusies

De belangrijkste aandachtspunten bij dit scenario zijn dat koolstof in dit scenario in Europa moet worden gehouden. Daarvoor is naast chemische recycling capaciteit ook transport en opslag infrastructuur nodig. Recycling kan nu al worden gestimuleerd door verbranding of storten minder aantrekkelijk te maken en door nu al een markt te creëren voor de secundaire grondstoffen.

2.6 Big Carbon tech

De drijfveer van deze transitie is een snel ontwikkelende innovatie die in staat is op grote schaal basis chemicaliën te ontwikkelen. Een beschrijving van het scenario is hieronder gepresenteerd. Bij het lezen van deze beschrijving moet in het achterhoofd worden gehouden dat de beschrijving illustratief is. Er is een fictieve combinatie van technologieën beschreven die op een tamelijk willekeurige manier tot stand komt. Er moet bij het beschouwen van dit scenario daarom verder gekeken worden dan deze fictieve technologie, en vooral de effecten van een willekeurige technische doorbraak moeten worden beschouwd. Ook de plaats van de technologische doorbraak, in dit geval aan het begin van de keten is willekeurig gekozen. Een doorbraak kan net zo goed op een andere plaats in de keten tot stand komen.

Het 15^{e} 5-jaren plan van China (2025-2030) signaleert dat, ondanks de dominantie in de grondstoffenmarkt, er een strategische achilleshiel is op het gebied van import van onder andere olie en China wil hier onafhankelijker in worden. Men zet in op conventionele oplossingen zoals substitutie van olie door kolen via Fischer-Tropsch proces, maar ook op een aantal niche technologieën, waaronder **solaire fotochemische reductie van CO_2**. Dit presenteert China als duurzamer dan de VS en helpt om de leidende positie in zonnepanelen uit te breiden naar deze techniek. Dit wekt internationale interesse, en al snel vindt ook in Europa en Amerika publiek onderzoek plaats en venture capital investeringen in startups voor deze technologie. In Silicon Valley blijkt de combinatie van onderzoeksuniversiteiten en startups succesvol, wat leidt tot de commercialisering van de technologie. **Chemische panelen worden ontwikkeld die CO_2 met zonlicht omzetten in bouwstenen zoals ethyleen, ethanol, methaan, methanol en mierenzuur**. Een groot voordeel is dat deze techniek **modulair** is en in **korte tijd (in enkele maanden/jaar) een nieuwe generatie kan ontwikkelden**. In relatief korte tijd stijgt de **'solar to chemical' efficiency van de processen van soms maar 1 % tot aanzienlijk deel van het theoretisch maximum** van rond de 30-40 %. De startups worden al snel opgekocht door grote spelers uit de big Tech wereld die de diepste zakken en geen stranded assets hebben.

2.6.1 Bedrijfseconomische omstandigheden in EU

Dit scenario wordt gekenmerkt door de volgende bedrijfseconomische omstandigheden:

- Grote technologische doorbraken en ontwikkeling
- **Hoge energieprijzen**, maar gecompenseerd door hoge CO_2-beprijzing en subsidie voor CCU
- Geen grote nieuwe drijvende krachten die marktomvang EU reduceren
- **Open wereldhandel**, Europese markt niet of nauwelijks afgeschermd.
- Technologische verandering vooral door **privaat investering** gedreven

2.6.2 Effect op de sector

Eerst wordt de **nieuwe CCU-technologie** vooral het hogere segment en zichtbare toepassingen (cosmetica, medicijnen, premium verpakkingen) gebruikt die een ecopremium kunnen vragen.

Maar met een kleine steun in de rug van consumentensentiment, geopolitiek en EU-beleid (ETS, CBAM) vindt een **grote disruptie** van de basischemie plaats, waarbij nieuwe spelers vanuit **Big Tech modulaire CCU-installaties ontwikkelen**, die op veel kleinere schaal geplaatst kunnen worden, zolang er maar afvoer via bijvoorbeeld tankschip of pijpleiding van de chemische producten mogelijk is. De traditionele krakers komen onder druk te staan om hun processen te optimaliseren. Europa komt op een kruispunt te staan: deze revolutie maakt het mogelijk om Europa's CO_2 doelen te halen, en als de keten die begint bij CCU en eindigt bij export is er effectief sprake van **negatieve emissies voor de EU**. Nieuwe chemie en nieuwe brandstoffen voor bijv. luchtvaart kunnen hand in hand gaan. **Europese beprijzen van CO_2** biedt bedrijven een sterke prikkel op om **al eerder op de kostencurve te investeren** in CCU en CCU wordt aan de andere kant gekoppeld aan Europese subsidies om te helpen met investeringen. Terwijl een goed ingeregeld CBAM de markt van goedkope fossiele concurrentie kan afschermen.

Van de andere kant staat Europa ook op achterstand: **ruimte is duurs en schaars, en moet concurreren tegen zonnepanelen voor elektriciteit**. Ook is zeker in Noord-Europa zon minder constant en intensief dan in andere landen. Europa kan weliswaar voortbouwen op expertise in chemische (membraan)reactoren, maar mist ook ervaring en kennis die in VS en China wel aanwezig is. Producten zoals ethyleen kunnen intercontinentaal verhandeld worden, vergelijkbaar met LNG, en **EU kan bestaande infrastructuur om fossiele producten te importeren/exporteren, ombouwen en uitbouwen** om in grote volumes te importeren.

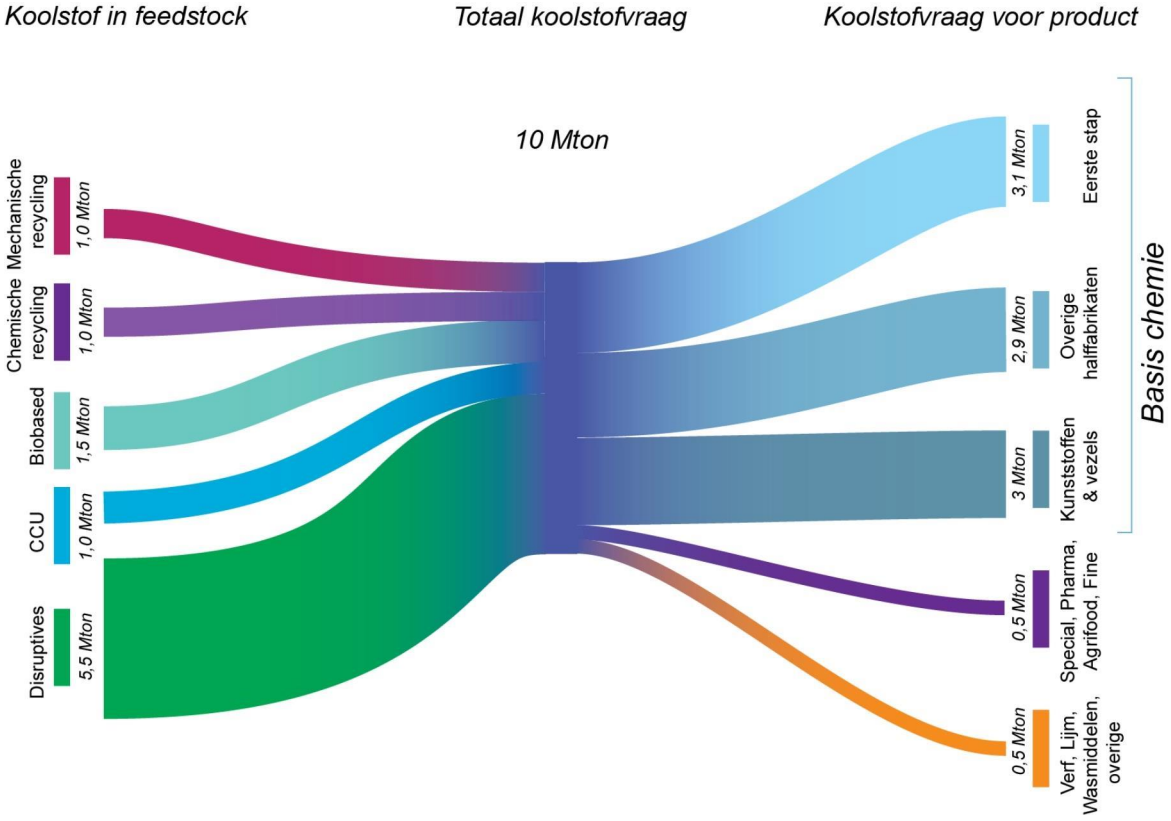
De impact voor spelers aan het begin van de keten is groot, de grote partijen die mee kunnen schakelen blijven bestaan en hebben een voordeel doordat ze (milieu) ruimte vrijmaken voor deze lucratieve ontwikkeling. Bedrijven die de boot hebben gemist krimpen significant en vermarkten nu hun opgedane expertise over de bestaande infrastructuur aan de nieuwkomers in plaats van dat ze zelf produceren. Door deze innovatie ontstaat er een grote druk op personeel die met deze techniek kan werken, personeel dat niet met deze techniek kan werken moet omgeschoold worden. Voor spelers verderop in de chemische keten verandert relatief weinig: ze blijven dezelfde commodities gebruiken als nu.

2.6.3 Randvoorwaardelijke uitdagingen en knelpunten in Nederland

Meer nog dan in andere scenario's **is ruimte cruciaal** in dit disruptieve scenario om deze nieuwe technologie te benutten. Dit maakt het uitdagend om de eerste stap in chemische ketens, zoals olefinen, die nu via CCU gaat niet te verliezen aan andere EU-landen en blokken buiten de EU. Dit is vrij specifiek voor dit (fictieve) scenario, maar andere 'power-to-X' technologieën kennen ook indirect een grote ruimtevraag voor duurzame elektriciteitsproductie (of snelle realisatie van kernenergie). Ook zijn **de voordelen van clustervorming minder sterk** dan bij traditionele petrochemische integratie en is de aanwezigheid van bestaande chemische spelers in Nederland minder een voordeel.

2.6.4 Eindsituatie in dit scenario

Onderstaand figuur en tabel geven de eindsituatie aan als de transitie naar duurzame koolstof voltooid is. Achterliggende uitgangspunten over het tot stand komen van het figuur en de tabel staan in bijlage 4.



Er vindt in dit scenario een lichte krimp in financiële omzet plaats omdat er uiteindelijke goedkopere feedstock beschikbaar komt. Dit heeft vooral effect op de aardolieraffinage, in volume van de deelsectoren verandert er weinig.

2.6.5 Hoe kondigt het scenario zich aan

Dit scenario laat zich lastig aankondigen door de snelheid van de ontwikkelingen. Signalen die relevant kunnen zijn:

- Een versnelling en toename van patentaanvragen
- Toenemende samenwerking tussen onderzoeksinstellingen onderling en tussen onderzoeksinstellingen en industriepartijen
- Een groeiend aantal investeringen die gedaan worden in een technologie

2.6.6 Welke acties moeten er genomen worden?

In dit scenario lijkt het erop dat het bedrijfsleven in de lead is, toch kunnen overheden ook kunnen bijsturen om deze route vorm te geven.

- Nog belangrijker dan in andere scenario's is het voortdurend volgen van de early warning signals. Vervolgens is het belangrijk om te realiseren dat technologische doorbraken vaak in een exponentiele vorm plaats vinden en niet lineair. Als de eerste stappen in een doorbraak zijn genomen dan neemt de snelheid toe. Als dus de early warning signals gemist zijn dan ontstaat er meteen een grote achterstand
- Overheden op nationaal of lokaal niveau kunnen innovaties stimuleren. De volgende acties kunnen genomen worden door Nederland:
  - Risico's van innovaties verminderen door afzet te garanderen door dit soort innovaties te prioriteren bij inkoopprocessen of door financieel bij te dragen aan ontwikkelingskosten
  - Investeren in onderwijs op en samenwerkingen tussenonderzoeksinstellingen stimuleren. Investeer ook consistent in broedplaatsen en accelaratieprogramma's gericht op innovatieve en duurzame chemie. Hierbij is het belangrijk om als overheid te diversifiëren in technologieën, omdat vooraf niet goed te voorspellen valt welke technologie uiteindelijk zal doorbreken
  - Wet- en regelgeving waar nodig aanpassen zodat de innovatie kan opschalen
    - Welke wet- en regelgeving aangepast moet worden hangt onder andere af van de innovatie maar denk aan: regelgeving over biologische risico's en mogelijkheden om snel nieuwe generaties apparatuur te mogen installeren, Een huidig voorbeeld van een belemmering in het gebruik van afvalstoffen voor recycling is de onduidelijkheid over de einde afvalstatus. In de toekomst kan er weer een andere belemmering zijn
    - Pas wet- en regelgeving aan gebaseerd op bewijs. Het is hierin van belang dat programma's die financiering ontvangen, zoals broedplaatsen of acceleratieprogramma's, moeten rapporten op de voortgang of eventuele uitval van initiatieven. Op deze manier kun worden geëvalueerd of de meest effectieve aanpak wordt gevolgd en daarop de wet- en regelgeving kan worden aangepast
- Partijen uit de chemische industrie kunnen zich inzetten om (delen van) de intellectuele eigendommen van disruptieve technologie in handen te krijgen. Dit kunnen ze doen door bij te dragen aan onderzoek, patenten op te kopen of patenten die ondersteunend zijn in deze technologie op te kopen. Kortom er moet IP beheer worden uitgevoerd door de chemische industrie
- Voor de overheden is het belangrijk om de materiaal en milieueigenschappen van deze technologie in de gaten te houden. Het is belangrijk dat daar ambtenaren voor worden aangenomen en opgeleid, zodat de controle op de veiligheid niet zorgt voor enorme vertragingen. Wanneer een innovatieve technologie beschikbaar is, moet meteen veiligheid van product en productieproces onder de loep genomen worden, zodat daarna snel kan worden geschakeld. Zowel als de veiligheid niet op orde is als wanneer dat wel het geval is

- Om een disruptieve technologie op te laten schalen in Nederland is het belangrijk dat het vestigingsklimaat voor bedrijven op orde is. Dit betekent onder andere dat er voldoende geschoold personeel aanwezig moet zijn, dat er voldoende toegang tot duurzame energienetwerken (elektriciteit, waterstof, et cetera) beschikbaar zijn en dat bijvoorbeeld vergunningsprocessen soepel verlopen
- De overheid moet voor dit soort doorbraken voortdurend samen met de chemische industrie in de gaten houden wat de randvoorwaarden zijn om een technische doorbraak op te kunnen schalen. Zolang er geen belemmeringen zijn kan nieuwe technologie exponentieel groeien. Als er een belemmering ontstaat stopt de groei ook heel snel. Het is dus van belang om belemmeringen zo veel mogelijk te voorkomen, en als zij zich voordoen om ze te verwijderen

2.6.7 Conclusies

Hoe de technologie er in de toekomst ook uit gaat zien, het is van belang om goed op de hoogte te blijven van de mogelijkheden van de nieuwe technologie. Het volgen van de ontwikkelingen en IP beheer is hierbij cruciaal. De uiteindelijke technologische doorbraak bepaalt of er in Nederland ruimte voor ontwikkeling is, en zo ja waar dit moet plaatsvinden. Voor deze ontwikkeling is het van belang dat partijen samenwerken zowel als het gaat om de ontwikkeling van kennis, om het vrijspelen van fysieke ruimte om op te schalen en maar ook als het gaat om het verkrijgen van de benodigde grondstoffen en financiering. Samenwerking is ook van belang om belemmeringen voor de toepassing van de nieuwe technologie weg te nemen of zelfs te kunnen voorkomen.

2.7 Reflecties op de scenario’s

Wanneer de scenario’s naast elkaar worden bekeken zijn er een aantal dingen die opvallen. Deze paragraaf beschrijft de meest opvallende dingen. Hierbij is ook gekeken naar de kwantitatieve analyse die is beschreven in bijlage 4. Let bij het interpreteren van de gegevens in bijlage 4 op dat de kwantitatieve analyse een richting geeft en geen exacte uitkomst. De analyse gebruikt aannames uit de scenario’s die direct de uitkomsten bepalen. Het kwantitatieve model is bedoeld om de verschillende scenario’s met elkaar te vergelijken en is geen goede voorspeller van de toekomst.

2.7.1 Hoewel de scenario's ‘extreem’ zijn, zijn ze allemaal niet ondenkbaar

In deze verkenning hebben we een 4-tal scenario’s ontwikkeld en getoetst met stakeholders uit de chemische sector. Omdat de drijvende krachten op dit moment binnen de chemische industrie niet voldoende zijn om de transitie verder te brengen hebben we in ieder van de scenario’s een externe drijvende kracht sterk uitvergroot zodat die groot genoeg is om de barrières te overkomen. Het gaat hierbij om de volgende externe krachten: Sterk vergroenend Europees beleid, uitval van de vraag, handelsbeperkingen en een technologische doorbraak. Ieder van deze externe krachten kunnen grote invloed hebben op de Nederlandse chemiesector. De invloed zit op de emissies van het productieproces, de typen materialen die gevraagd worden, tekorten aan fossiele feedstock en aanbod van goedkope duurzame feedstock. Hoewel deze invloeden allemaal kunnen bijdragen aan een verduurzaming van de koolstofchemie in Nederland is sturing vanuit de overheid wel nodig om te komen tot een fossiel vrije koolstofchemie.

De uitvergroting van de drijvende krachten is getoetst bij met stakeholders. In alle gevallen gaven zij aan dat een toename in de drijvende kracht in zichzelf niet ondenkbaar is, en in sommige gevallen zelfs voor de hand liggend is. De stakeholders hadden wel verschillende verwachtingen van de effecten die optreden als de drijvende krachten worden vergroot. Het hoeft niet zo te zijn dat een vergrootte drijvende kracht leidt tot een fossielvrije koolstofchemie. Om te komen tot een fossielvrije koolstofchemie moet naast de drijvende kracht die veranderingen in werking zet ook worden voldaan aan randvoorwaarden die zijn opgenomen bij ieder scenario.

2.7.2 Er is een significant verschil tussen productievolume en financiële omzet

In de meeste scenario's daalt zowel de productie als de omzet ten opzichte van het huidige scenario, wat het gevolg is van een verwachte lagere vraag naar met name basischemicaliën en kunststoffen. In het scenario Geïsoleerd Europa is dit anders: daar blijft de productie op niveau door een sterke binnenlandse focus, en leiden hogere prijzen tot een forse omzetgroei.
De uitkomst in dit scenario is echter sterk afhankelijk van de aanname dat productie binnen Nederland en zelfs Europa blijft.

2.7.3 Benodigde hoeveelheid afval voor recycling is extreem hoog

In alle scenario's waarin recycling een substantiële rol speelt in het invullen van de koolstofvraag, is de benodigde hoeveelheid afval uitzonderlijk hoog. In het scenario over Geïsoleerd Europa is in de hoge verwachting een vraag van 117 Mton restafval. Zelfs in het Plastic Panic-scenario, waar de totale productie en koolstofvraag sterk zijn afgenomen, bedraagt de benodigde hoeveelheid plastic afval voor mechanische en chemische recycling gezamenlijk 9 – 19 Mton per jaar (wat zich vertaalt tot een bandbreedte van 11 tot 31 Mton restafval). Dit is een veelvoud van de huidige beschikbare stromen. Ter illustratie, er wordt ongeveer 7,5 Mton restafval in Nederlandse AVI's verwerkt. Lang niet al dit afval is geschikt om chemicaliën van te maken. De asrest van verbranden is bijvoorbeeld al ruim 20 %. In scenario's zoals Geïsoleerd Europa worden volumes gevraagd die de huidige Nederlandse afvalmarkt ruimschoots overstijgen. Dit betekent dat we afval uit andere gebieden moeten halen om te verwerken. In die andere gebieden is echter ook vraag naar feedstock. Daarnaast is het goed mogelijk dat de chemische industrie niet de enige sector is die afval kan verwaarden waardoor de druk op de benodigde hoeveelheid afval voor industrie verder toeneemt.

2.7.4 Biobased grondstoffen vragen een zeer grote opschaling

Biobased feedstocks spelen in meerdere scenario's een belangrijke rol als alternatief voor fossiele grondstoffen. Maar de benodigde hoeveelheden zijn zodanig groot dat het huidige Europese landbouwsysteem zwaar onder druk zou komen te staan. In scenario's als Plastic Panic en Green Deal on Steroids ligt de benodigde landbouwgrond voor biobased grondstoffen voor de Nederlandse industrie tussen de 0,3 en 3,6 keer het totale Nederlandse landoppervlak (afhankelijk van de aannames over de yield per hectare). Dit betreft de behoefte van chemische industrie, daarnaast heef de bouw industrie in de toekomst ook behoefte ook biobased materiaal.
Dit laat dit zien dat de biobased strategie afhankelijk is van substantiële systeemveranderingen en concurrentie om land en biomassa met voedsel en natuur, niet alleen in Nederland maar ook daarbuiten.

2.7.5 Uitfasering fossiel betekent óf voldoende alternatieven óf krimp

In alle duurzame scenario's wordt fossiele feedstock volledig uitgefaseerd. Dit veronderstelt dat alternatieve koolstofbronnen – zoals afval (recycling), biobased, CCU of disruptieve technologie – in voldoende mate beschikbaar én schaalbaar zijn. Als die beschikbaarheid echter uitblijft, is het logisch gevolg een substantiële krimp van de chemische industrie. Deze structurele afhankelijkheid van alternatief aanbod maakt de grondstoffentransitie voor de koolstofchemie kwetsbaar: niet de beleidsambitie, maar de feitelijke beschikbaarheid van circulaire of biogene koolstof bepaalt de toekomstige omvang van de sector.

3 Impact op de verschillende deelsectoren

De transitie naar een duurzame koolstof chemie heeft per deelsector een verschillende impact. Dit hoofdstuk beschrijft die impact per deelsector. Voor de deelsectoren sluiten we aan bij de deelsectoren zoals gehanteerd bij het modelleren van de scenario's. Het gaat om de deelsectoren

1. Basischemie – 1e stap
2. Basischemie – Kunststoffen
3. Basischemie – Overige
4. Coatings, verf, lijm, wasmiddelen en overige chemische producten
5. Pharma, agrifood chemicals en fines

3.1 Basischemie – 1e stap

Onder basischemie – 1e stap verstaan we het verwerken van ruwe grondstoffen (voor nu vaak aardoliefraties en gas) naar basis chemicaliën zoals methanol en etheen.

Kernboodschap over deze deelsector:

- **Hier kan de grote klapper gemaakt worden die ook de rest van de sector grotendeels zal verduurzamen, en het is ook deelsector van aanzienlijke economische waarde. Maar tegelijk is de verduurzaming ook zeer uitdagend door lage marges, grote volumes en grote publieke steun die nodig zal zijn voor behoud en snelle vergroening**
- **Voor deze sector is het dilemma: Doen we de benodigde zeer grote investeringen en maken we de politieke keuzes om zeer intensief in te zetten op vergroening, of accepteren we afbouw van de deelsector zodat we juist kunnen kiezen om de beleidsaandacht elders op te vestigen. Dit is niet los te zien van bredere overweging bijvoorbeeld over de energievoorziening van deze industrie. Gezien de tijd nodig om dit soort grootschalige industrie op te schalen, zou Nederland wereldwijd voorop in de opschalingscurve moeten lopen om uiteindelijk van de investeringen te profiteren**
- **Chemische recyclingtechnologie gebaseerd op pyrolyse is technisch gezien en qua infrastructuur de voor de hand liggende optie, al zal het zeer uitdagend zijn om voldoende secundaire grondstoffen voor de huidige productievolumes te vinden. CCU ligt vanwege kosten en energievraag niet voor de hand. Biobased opties zijn mogelijk als aanvulling op andere technologieën. Vanwege de benodigde ruimte zullen deze grondstoffen waarschijnlijk grotendeels niet uit Nederland komen. Biobased opties moeten dus geïmporteerd worden. Daar zal voldoende infrastructuur voor moeten worden ontwikkeld**
- **Voor alle technologieën geldt dat er wanneer zij worden ontwikkeld, gelijktijdig of in plaats van bestaande industrie, er een (milieu) ruimtevraag ontstaat[5]. Hiermee moet in ruimtelijke ordening rekening worden gehouden**
- **Er is ook een veel kleinschaligere verduurzaamde 1e stap basischemie denkbaar, die groene halffabricaten aan hoogwaardige chemie levert. Een kleinere basischemie zal dan voornamelijk leveren aan deelsectoren 3, 4 en 5. Het volume dat nodig is voor de productie van kunststoffen is dan niet beschikbaar. Bij een kleinere basischemie is de aanvoer van grondstoffen beter te overzien, en de hogere waarde van de uiteindelijke hoogwaardige chemische producten kan de extra kosten voor verduurzaming beter absorberen**

[5] ISPT heeft dit becijferd voor het haven-industriecluster van Rotterdam en komt op minstens 1,4 keer de huidige ruimtevraag die door de huidige olieraffinage- en krakerindustrie wordt gebruikt.

De basischemische krakers in Nederland staan onder grote druk, dit heeft niet alleen te maken met verduurzaming, maar ook met de huidige energieprijzen en grote internationale concurrentiedruk. Er nadert een grote, moeilijke industriepolitieke keuze voor Nederland of zij de prijs wil betalen om deze industrie te behouden en vergroenen op lange termijn. We zien dan ook in de duurzame scenario's dat niet altijd deze 'eerste stap chemie' in Nederland behouden blijft. Een te open Europese economie maakt het uitdagend mondiale concurrentie te weerstaan, scenario's waar de Europese economie meer gesloten is, zijn vaak ook economische grimmigere scenario's waarin verduurzaming wellicht weinig prioriteit krijgt.
De lage productiekosten en marges van de huidige fossiele productie, maken dat zeker aan het begin van het pad, verduurzaamde productie een onrendabele top tot honderden procenten kan hebben. En we hebben scenario's geschetst waarin die onrendabele top snel daalt, maar het is onwaarschijnlijk dat dit pad begaanbaar is zonder zeer stevige publieke steun.
Als er gekozen wordt voor behoud en snelle verduurzaming van (een deel van) deze sector, dan ligt inzet op chemische recycling via pyrolyse en kraken voor de hand (tenzij technologische ontwikkeling van andere routes dit pad niet competitief maakt). Het voordeel van dit pad is dat het *relatief* dicht bij de huidige assets en infrastructuur aansluit. De grote uitdaging ligt, zeker bij het huidige aantal krakers met een grote capaciteit in Nederland, bij voldoende secundaire plastics aantrekken en de infrastructuur op te bouwen om deze effectief in te zamelen.
Voor paden die gaan richting chemische recycling via vergassing en/of product op basis biobased grondstoffen, wordt de uitdaging van fysieke, milieu en risico-ruimte voor nieuwe installaties groter. Biobased grondstoffen zullen geïmporteerd moeten worden, het is vrijwel onmogelijk gezien de benodigde ruimte voor het verbouwen van voldoende gewassen om zelfs een gekrompen sector te voeden met gewassen uit Nederland. Dit betekent waarschijnlijk ook concurrentie met productie dichter bij de bron, zeker voor de 'eerste stap' chemie naar bijvoorbeeld ethanol en/of methanol, waarbij huidige assets veel minder een voorsprong geven.
Het lijkt onwaarschijnlijk dat CCU-technologie snel genoeg opschaalt en daalt in kosten om in dezelfde ordegrote als de huidige Nederlandse sectoromvang te kunnen produceren. In de scenario's zien we mechanische en chemische recycling vaak terugkomen (behalve voor nieuwe relatief makkelijk afbreekbare commodities die hiervoor niet geschikt zijn). Of en in welke mate andere chemische route(s) uiteindelijk hier of elders gebruikt worden om de primaire chemische bouwstenen te produceren, heeft zich in deze transitie nog niet uitgekristalliseerd, we hebben hiervoor ook verschillende scenario's geschetst. Dit betekent in beleid opties openhouden en bijvoorbeeld op beide steun voor pilots en opschaling inzetten en ruimte vrijmaken voor opties die veel ruimte vragen.

Kleinschaligere 1e stap basischemie om hoogwaardige sector te voeden
Hiervoor hebben we paden naar een vergroende eerste stap basischemie besproken, en de grote uitdagingen hierin, gezien de grote volumes en lage marges. Een andere benadering zou zijn om in te zetten op een kleinschalige verduurzaamde eerste stap chemie, met veel kleinere volumes. Dit helpt de rest van de chemische keten in Nederland (en Europa) mogelijk om te verduurzamen, maar behoud niet de huidige volumes en economische waarde van eerste stap basischemie.

3.2 Basischemie – Overig

De hoofdboodschappen van deze paragraaf zijn:

- **Door deze deelsector loopt waarschijnlijk een breuklijn van verduurzaming tussen de producten die alleen door verduurzaming van de 1e stap chemie kan, en processen waar sourcing van groene halffabricaten van elders of kleinschalige 1e stap chemie denkbaar is (zoals bij de volgende deelsectoren)**
- **De overige basischemie zet halffabricaten om in geavanceerdere halffabricaten, in sommige scenario's verandert er in dit deel van de keten relatief weinig (omdat alleen het aan het begin/einde van de keten andere grondstoffen en/of recycling worden gebruikt), als er geheel nieuwe, bijvoorbeeld biobased, commodities ontstaan, moet deze deelsector wel omschakelen**

De Nederlandse basischemie (onder SBI/Prodcom definities), omvat chemische halffabricaten en producten in de prijsrange van duizend tot enkele duizenden dollars per ton. Een klein deel kent veel hogere prijzen van tien- of zelfs honderdduizenden Euro's per ton en behoort statistisch tot de basischemie (omdat het halffabricaten zijn), maar lijkt verder sterk op hoogwaardige chemie, die we in de volgende paragraaf beschrijven.
Omdat deze deelsector midden in de chemische keten zit, en dus niet direct grondstoffen of eindproducten raakt, zijn in sommige scenario's de implicaties voor deze sector beperkt, omdat de halffabricaten midden in de keten niet veranderen. Als er nieuwe commodities ontstaan, bijvoorbeeld nieuwe biobased zuurstofhoudende commodities, vinden hier wel grote wijzigingen plaats.
Het relatief laagwaardige deel van deze overige basischemie is sterk verbonden met de voorgaande eerste stap basischemie: dit zijn vaak processen die op de dezelfde site plaatsvinden, in hetzelfde cluster, of gebruik maken van het Noordwest-Europese chemische pijpleidingennetwerk. Het zal zeer uitdagend zijn om van grotere afstand groene grondstoffen te halen voor dit deel van deze deelsector.
Het relatief hoogwaardige deel van deze sector, kan wel in potentie fossielvrije grondstoffen van elders halen en verwerken. Hier zijn dus de strategieën die we hierna beschrijven wel van toepassing.

3.3 Basischemie - kunststoffen

De hoofdboodschappen van deze paragraaf zijn:

- **Ook in de deelsector kunststoffen zitten grote verschillen in toegevoegde waarde ten opzichte van 1e stap basischemie, bulkkunststoffen zijn veel meer verbonden met basischemie dan bijvoorbeeld hoogwaardige technische kunststoffen**
- **Maar voor kunststoffen is er juist een duidelijk pad naar recycling (en gebruikt recyclaat), in alle paden zien we grote rol voor hergebruik/mechanische recycling, dit laat het belang van intensiveren van beleid hierop zien, naast beleid voor nieuwe technologie**

Kunststoffen hebben met de overige basischemie gemeen dat ze voortbouwen op de eerste stap basischemie en dat in sommige gevallen nabijheid bij die clusters (fysiek of via pijpleiding) belangrijk is. Tegelijk zijn er ook geavanceerde kunststoffen met bijzondere technische eigenschappen die het zich mogelijk wel kunnen veroorloven om zich logistiek op grotere afstand van eerste stap basischemie te bevinden.

Wat kunststoffen anders maakt ten opzichte van Basischemie overig is dat ze een chemisch product (in plaats van halffabricaat) betreffen (dat in niet-chemische industrie in eindproducten verwerkt wordt). Kunststoffen zijn de enige chemische producten die al op grote schaal *post-consumer* worden gerecycled, via mechanische recycling. De enige uitzondering hierop is dat mechanische recycling, en mogelijk ook chemische recycling, bij nieuwe meer afbreekbare kunststoffen minder voor de hand ligt. In alle scenario's zien we zeer hoge energieprijzen en schaarste in primaire en secundaire grondstoffen.

3.4 Coatings, verf, lijm, wasmiddelen en overige chemische producten

De hoofdboodschappen van deze paragraaf zijn:

- **De volumes in deze sector zijn kleiner, maar de combinatie van hogere toegevoegde waarde en dichter in de keten bij de consument staan, maken dit een interessante deelsector om een pad naar fossielvrije chemie te beginnen**
- **Er is geen end of life recycling mogelijk, dit noodzaakt dat in deze keten (of hele koolstofeconomie) koolstof uit omgeving moet worden opgenomen via CCU/biobased om de hele chemie fossielvrij/CO_2-neutraal te maken**

Deze deelsector kenmerkt zich door dat het chemische (eind)producten maakt en dat meestal de toegevoegde waarde relatief hoog ligt. De logistieke verbondenheid met chemische basisclusters is beperkter. Dit geeft, net als voor hoogwaardigere basischemie en hoogwaardigere kunststoffen dat hier toekomsten met fossielvrije import van verder weg denkbaar zijn. Dit zal zelfs noodzakelijk zijn als basischemische halffabricaten niet meer in onze regio gemaakt worden. Er is naar onze indruk nog relatief nog weinig beleidsaandacht voor transitiepaden naar een toekomst waarbij deze deelsectoren hun fossielvrije grondstoffen van elders halen. Hier zijn dus mogelijk beleidskansen.
Deze deelsector zit aan het einde van de keten, daarmee hangt het van ontwikkelingen in deelsectoren eerder in de keten af, welke fossielvrije grondstoffen in de keten gebruikt worden. In tegenstelling tot kunststoffen, is het vrijwel onmogelijk om de meeste van de producten van deze sector end of life te recyclen. Oplosmiddelen in lijmen en verven verdwijnen in de lucht, organische componenten in wasmiddel vermengen zich met afvalwater. In de gehele koolstofeconomie zal hier dus vrijwel onvermijdelijk een 'koolstoflek' ontstaan, dat elders in het hele systeem gecompenseerd moet worden (bijv. via biobased of CCU) om die koolstof weer in de technische kringlopen te brengen.

3.5 Pharma en agri-food specialty en fine chemicals

- **Door beperkte volumes is de ecologische impact van CO_2-vrije grondstoffen beperkt, maar gezien de economische waarde en hoge prijzen kan dit een interessante deelsector zijn om ecopremium producten te verkennen**
- **In deze deelsector speelt mogelijk certificering, zuiverheid en andere kwaliteitsaspecten een minstens zo belangrijke rol als technologie en grondstoffen**

Deze laatste deelsector bevat veelal zeer hoogwaardige, laag volume chemische producten. In sommige gevallen is de koolstofvraag van de functionele chemische component verwaarloosbaar. Toch liggen ook hier mogelijke kansen vanuit een ander perspectief. Gezien de aanzienlijke economische waarde van deze sector, zou vanuit economisch belang het stimuleren van fossielvrije producten interessant kunnen zijn.

En de kosten, opschalings- en energie-barrières voor CCU technologie is hier wellicht te overbruggen. Deze deelsector zou zo mogelijk 'launching customer' voor pilotproductie elders in de keten kunnen zin. Net als bij de vorige deelsector, is ook in deze deelsector recycling vrijwel onmogelijk (gebruik van recyclaat wel).
Wat deze deelsector ook onderscheidt is dat eisen aan halffabricaten hoog zijn wat betreft kwaliteit, bijvoorbeeld de zuiverheid en consistentie van product, maar ook het proces wat hier omheen georganiseerd is op het gebied van certificering, traceerbaarheid, etc. Het zou verkend kunnen worden of hier specifieke ondersteuning vanuit beleid zou kunnen helpen, bijvoorbeeld door met publiek geld onderzoek en certificering mogelijk te maken.

3.6 Verhouding tussen productieprijzen per technologie

De chemicaliën en producten die door de markt gevraagd worden kunnen met verschillende technologieën uit verschillende feedstocks gemaakt worden. Deze differentiatie leidt tot verschillende prijzen voor producten. Hieronder geven we per technologie een globale inschatting van de kosten van de producten die met die technologie kunnen worden gemaakt uit de verschillende feedstocks.

3.6.1 Mechanische recycling

Met mechanische recycling wordt direct vanuit kunststof(afval) via malen, smelten en extruderen nieuwe kunststof korrels gemaakt die kunnen worden ingezet in de productie van kunststof producten en onderdelen. Over het algemeen bepaalt de kwaliteit van de input in combinatie met het gebruikte proces de kwaliteit van de output. Belangrijk is daarom dat er een goede voorbewerking/sortering is, zodat zowel de kwaliteit als de yield van de secundaire kunststofkorrels hoog zijn. Input voor mechanische recycling komt uit alle sectoren waar kunststoffen vrijkomen, bijvoorbeeld verpakkingen van consumenten, kunststofhoudend bouw- en sloopafval uit de bouw en harde kunststoffen van automotives. Kunststofkorrels uit mechanische recycling waren jarenlang concurrerend met virgin kunststof. Recent zijn de prijzen voor virgin kunststof en geïmporteerde secundaire kunststof zoveel lager geworden dat mechanische recycling op dit moment niet concurrerend meer is. Door invoering van de Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) is de verwachting dat de vraag naar secundaire kunststofkorrels zal toenemen, waardoor de productie weer rendabel kan worden. Voor PET is het op dit moment al technisch goed mogelijk en daarmee wettelijk toegestaan om nieuwe voedselverpakkingen te maken uit oude voedselverpakkingen. Voor de overige kunststoffen is dat nog niet het geval. Een alternatief voor traditionele mechanische recycling is recycling via dissolutie, waarbij de gewenste polymeren worden opgelost in een oplosmiddel, waarna deze worden afgescheiden van vervuilingen. Dit leidt tot een polymeerpoeder dat zo schoon is dat het vergelijkbaar is met polymeren van virgin kwaliteit. Nadeel van deze technologie is dat de (dure) toeslagstoffen in de uitgangskunststof verloren gaan bij dissolutie. Waar mechanische recycling een veel voorkomend proces is, wordt dissolutie maar op enkele plaatsen bedreven. Een voorbeeld hiervan is PSLoop in Terneuzen dat polystyreen met gevaarlijke brandvertragers scheidt in zuivere polystyreen en een broomhoudende stroom. Beide stromen worden gerecycled. Producten uit dissolutierecycling kunnen op dit moment alleen in specifieke nichemarkten concurreren met producten gemaakt van fossiele oorsprong.

Geconcludeerd kan worden dat mechanische recycling producten oplevert die afhankelijk van de olieprijs net wel of net niet kunnen concurreren met fossiele producten. Het voorschrijven van steeds meer gerecycled content in verschillende producten creëert een markt voor recyclaat.

3.6.2 Chemische recycling

Bij chemische recycling worden (in tegenstelling tot mechanische recycling) moleculen afgebroken tot kleinere moleculen (polymeren naar monomeren). Om vervolgens weer de gewenste moleculen te verkrijgen moeten de moleculen weer worden opgebouwd. Hierbij gaat meer materiaal verloren (wordt omgezet in energie of komt terecht in een afvalstroom) dan bij mechanische recycling. Vanwege dit verlies én de veelal hogere temperatuur van de processen, zal chemische recycling in de regel duurder zijn dan mechanische recycling. Er zijn verschillende chemische recyclingprocessen gericht op verschillende feedstocks. Grofweg kan er een onderscheid worden gemaakt tussen: solvolyse, pyrolyse en vergassing.

Bij solvolyse wordt een vrij zuivere stroom kunststofafval in een oplosmiddel gebracht waarna de kunststofketens (polymeren) worden afgebroken in hun monomeren. Het afbreken kan worden gedaan door verhogen van tempraturen, drukken, of aanwezigheid van zuren of basen. Ook kan het afbreken via enzymen worden versneld. Er is geen productiecapaciteit die gebruik maakt van solvolyse in Nederland. Ioniqa, een Nederlandse scale-up, is van plan een dergelijke fabriek te bouwen. Ioniqa is recent echter failliet gegaan en heeft vervolgens een doorstart gemaakt. In Frankrijk wordt door Carbios een fabriek gebouwd die PET uit verpakkingen en textiel moet gaan afbreken tot haar monomeren. Dit zou moeten kunnen concurreren met virgin PET monomeren, vooral omdat er via de PPWR een verplichting is tot het toepassen van een deel recycled content in verpakkingen.

Bij pyrolyse wordt materiaal dat koolstof en waterstof bevat onder zuurstofvrije omstandigheden omgezet in een olie-, kolen- en gasstroom. De gasstroom wordt in de regel gebruikt als brandstof om het proces aan te drijven. De pyrolyseolie kan na behandeling met waterstof worden gebruik als inputmateriaal voor een kraker. Daarbij is het een vervanging voor fossiel nafta. De benodigde grondstoffen moeten relatief schoon zijn, vergelijkbare met mechanische recycling. De producten die uit de kraker komen die zijn gebaseerd op pyrolyseolie zijn nu een factor 3 tot 4 keer zo duur als producten van fossiele grondstoffen. Verschillende partijen in Nederland zijn bezig met het ontwikkelen van pyrolyseinstallaties, upgradingsinstallaties en het toepassen van pyrolyseolie gemaakt uit kunststofstromen in bestaande krakers. De productie is nu gericht op onderzoek naar optimalisatie/opschaling en op specifieke nichemarkten. Ook voor de productie van brandstoffen wordt pyrolyse toegepast. De installatie van Circtec die via pyrolyse uit afval van autobanden carbon black en drop-in fuels gaat produceren zal nog dit jaar online komen. Voor de toekomst (vanaf 2030) is pyrolyse waarschijnlijk interessant voor het behalen van de recycled content percentages voor verpakkingen uit de PPWR. Met opschalen kan pyrolyseolie goedkoper worden, maar zal altijd duurder blijven dan nafta uit fossiele bronnen. Naar verwachting blijft een product gebaseerd op pyrolyseolie uit kunststofafval een factor 2,5 keer zo duur als hetzelfde product uit fossiele nafta. Dit komt omdat er minder logistiek nodig is en minder chemische processtappen om tot hetzelfde product te komen.

Bij vergassen wordt een inputstroom onder hoge temperaturen en onder zuurstofarme omstandigheden omgezet in een gasstroom die rijk is aan waterstof en koolstofmonoxide. Deze stoffen kunnen katalytisch worden omgezet in de meeste chemische bouwstenen die nu ook worden gebruikt in de chemie. Bij vergassen worden de moleculen verder afgebroken dan bij pyrolyse en daardoor zijn er ook meer verliezen. Vergassen is echter een veel robuustere technologie waar veel meer inputstromen in kunnen worden verwerkt. Hierdoor kunnen goedkopere inputstromen zoals gemengd restafval worden gebruikt dan bij pyrolyse. In Nederland zijn nu geen vergassers in bedrijf die vanuit afvalplastic producten maken voor de chemische industrie. DOPS-Recycling technologies ontwikkelt in Nederland technologie voor een vergassingsinstallatie die in 2026 TRL 9 moet bereiken. Enerkem is wereldwijd het meest bekende bedrijf dat technologie ontwikkelt voor het vergassen van gemengd stedelijk afval. In Canada is een installatie van Enerkem in bedrijf die uit 40 kton restafval en biomassa 5 miljoen liter methanol en ethanol produceert. In 2026 moet in hetzelfde land een installatie online komen met een capaciteit van 200 kton input. In Spanje wordt op dit moment een vergelijkbare installatie ontwikkeld met een ongeveer 1,5 keer zo grote capaciteit. Volgens de scenariostudie van ISPT voor de haven van Rotterdam[6] zal vergassing eerder tot ontwikkeling komen dan pyrolyse omdat het economisch aantrekkelijker is vanwege de aanwezigheid van geschikte grondstoffen. Er is echter in Nederland op dit moment meer aandacht voor pyrolyse omdat dit beter aansluit bij de huidige infrastructuur met krakers. Op den duur zal vergassen van laagwaardige afvalstromen met nageschakelde installaties om direct syngas of methanol te produceren waarschijnlijk goedkoper zijn dan de route via pyrolyse. Daarmee kan het waarschijnlijk eerder concurreren met fossiele producten.

3.6.3 Biogebaseerde productie

De productie van producten uit biomassa kan ook via verschillende routes verlopen. Grofweg zijn de meest ontwikkelde technologieën de volgende: Bionafta voor toepassing in een kraker, pyrolyseolie uit biogrondstoffen voor toepassing in een kraker, vergassing van biogrondstoffen en biologische omzetting van biogrondstoffen.

Bionafta is een bijproduct van de biobrandstofproductie. Bij de productie van de dieselvervanger Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) komt bionafta vrij die kan worden gebruik als feedstock voor krakers. De bionafta gaat echter op dit moment vooral als blendmiddel naar brandstoffen, omdat daar een bijmengverplichting is. Voor toepassen in krakers is het veel te duur. Fossiele nafta kost op dit moment ruim $ 600/ton[7], bionafta kostte in 2022 tussen de ongeveer $ 2.350 en 2950 meer per ton. Dit betekent een factor 5 tot 6 meer dan fossiel. Als transport steeds meer wordt geëlektrificeerd dan zal er meer bionafta beschikbaar komen voor de chemie en kan de prijs gaan dalen. Het ligt niet in de verwachting dat de prijs in de buurt gaat komen van fossiele nafta.

[6] Scenario-study-HIC_publiekssamenvatting.pdf
[7] Naphtha - Price - Chart - Historical Data - News

Input voor krakers kan ook worden geproduceerd uit biomassa via pyrolyse. Er moet dan in de regel nog wel een (dure) upgrade worden uitgevoerd omdat pyrolyseolie niet direct geschikt is als feedstock in een kraker. Pyrolyseolie is namelijk zuurder, bevat meer water en heeft een veel lagere energiedichtheid dan fossiele nafta, wat betekent dat er veel meer van nodig is om hetzelfde product te maken. Onbehandelde pyrolyseolieprijzen lagen in de eerste helft van 2024 tussen de $ 730,- en $787,- per ton[8]. Wat betekent dat er een hogere prijs moet worden betaald voor een product waarvan meer nodig is. In Nederland wordt pyrolyseolie uit biomassa gemaakt door Twence en geleverd aan een melkfabriek in Borculo. Dit is mede mogelijk gemaakt door SDE-subsidie.

Een andere technologie voor het maken van chemicaliën uit biomassa is via vergassingstechnologie, vergelijkbaar met de vergassingstechnologie die gebruikt wordt voor chemische recycling. Vanuit het verkregen synthesegas kunnen dan verschillende chemicaliën worden geproduceerd. Omdat biomassa over het algemeen homogener is dan restafval is een installatie voor het vergassen van biomassa iets simpeler. De kosten voor de feedstocks zijn echter (veel) hoger. Waar voor het aanleveren van (kunststofhoudende) afvalstromen aan een vergassingsinstallatie vaak betaald moet worden aan de vergassingsinstallatie, zal een vergassingsinstallatie juist moeten betalen voor de meeste biomassastromen zoals hout en stro. Daarom is de businesscase voor vergassen van biomassa slechter dan die voor het vergassen van restafval. Voor specifieke biomassastromen waar geen markt voor is, kan vergassen een goedkopere optie zijn dan verbranden of storten, waardoor een ontdoener alsnog bereid is te betalen aan de vergasser. Dit gaat vooral op voor stromen met een lage calorische waarde omdat er veel water in zit. Dat soort stromen zijn slecht te verwerken in een normale vergasser.
Een superkritische watervergasser kan dit soort stromen wel verwerken en omzetten in methaan. Dit gebeurt in Alkmaar bij SCW systems[9] waar het methaan ingevoerd wordt in het hoge druk aardgasnet. Door toename van de schaalgrootte ligt het voor de hand dat de kosten per ton product nog iets kunnen zakken. Dit blijkt ook uit een studie naar bestaande vergassers. Hoe groter de doorzet, hoe lager de investeringsprijs per ton/jaar[10]. De aanvoer van biomassa naar steeds grotere installaties wordt echter wel steeds ingewikkelder, omdat biomassa zeer volumineus is en chemisch niet altijd stabiel, waardoor opslag lastig wordt in verband met broei en geuroverlast. De technologie ontwikkelt zich ook nog steeds dus er is ruimte voor optimalisatie.

Biomassa kan ook direct worden omgezet in gewenste chemicaliën door biologische/ enzymatische omzetting. Deze meer disruptieve technologieën worden al ingezet door bijvoorbeeld Corbion en Avantium. Het gaat hierbij over het algemeen over nog kleine fabrieken die uit biogrondstoffen direct plastics maken. Vaak gaat dit via een route waarbij biogrondstoffen in suikers worden omgezet, waarna de suikers worden omgezet in de gewenste chemicaliën.
De producten die op deze manier worden gemaakt worden nu afgezet in nichemarkten.

[8] Pyrolysis Oil Price Trend, Index, News, Chart, Database
[9] SuperCritical CleanUp
[10] Costs of Gasification Technologies for Energy and Fuel Production: Overview, Analysis, and Numerical Estimation

Deze hoogwaardige producten worden wel gemaakt in fabrieken met 10-tallen kilotonnen aan productie per jaar, en zijn dus al wel op een hoog TRL niveau, maar zij vallen in het niet bij de hoeveelheid producten die uit fossiele grondstoffen worden gemaakt. Volgens het Nova Institute[11] bestaat op dit moment 1 % van de kunststoffen die wereldwijd worden geproduceerd uit biobased kunststoffen en zou de capaciteit tot 2029 toe nemen tot ongeveer 2 %. Volgens plastics Europe bestond in 2023 minder dan 1% van de plastics in de wereld uit biobased plastics[12]. Ter illustratie: de prijs van het bioplastic PLA is $ 2,78/kg[13] (EUR 2,57). De prijzen voor commodity plastics uit fossiele grondstoffen variëren tussen EUR 0,85 (LDPE film kwaliteit) en EUR 1,83 (ABS)[14]. Hierbij moet opgepast worden dat prijzen niet een op een te vergelijken zijn omdat de eigenschappen van de kunststoffen verschillen. Door technische optimalisatie kan de productie van chemicaliën en producten via directe omzetting vanuit biomassa goedkoper worden.

3.6.4 Carbon capture and utilisation

Koolstofdioxide uit de lucht of uit rookgassen kan worden omgezet naar chemicaliën. Hiervoor is echter veel energie nodig. Op dit moment bevindt de technologie voor het maken van chemicaliën uit CO_2 en energie zich nog in de kinderschoenen. Volgens het Nova Institute[15] wordt op dit moment op 3 plaatsen in de wereld E-fuel geproduceerd, met een totaal volume van enkele kilotonnen. De technologie is volgens TNO duur[16] en Europa is vanwege haar hoge energieprijzen niet de aangewezen plaats om deze technologie toe te passen. Volgens TNO is de prijs van E-fuel op basis van afgevangen CO_2 van puntbronnen meer dan een factor 4 duurder dan fossiele brandstof. Dit was bij een fossiele energieprijs van $80/BOE (Barrel of Oil Equivalent). Op dit moment is de olie ongeveer $10/barrel goedkoper, dus is het verschil waarschijnlijk nog groter. De verwachting is dat carbon capture and utilisation niet voor 2050 kosteneffectief wordt met de huidige omstandigheden. Alleen als de (duurzame) energieprijzen enorm zakken of fossiele prijzen enorm stijgen heeft CCU een kans om eerder kosteneffectief te worden.

3.6.5 Samenvatting van de kosten per technologie

De voorgaande paragrafen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 3.1 Prijsniveau per technologie en geschat prijsniveau in de toekomst.

Technologie	Huidig prijsniveau t.o.v. fossiel	Geschat prijsniveau in de toekomst t.o.v. fossiel	Belangrijkste drijver
Mechanische recycling			
Klassieke mechanische recycling	+	-/0/+	Kwaliteit en schaal van de recycling

[11] Bio-based Building Blocks and Polymers Global Capacities, Production and Trends 2024–2029 - Short Version (PDF) | Renewable Carbon Publications
[12] Plastics – the fast Facts 2024 • Plastics Europe
[13] Polylactic acid (PLA) price index - businessanalytiq
[14] Ceny Komoditných plastov
[15] https://doi.org/10.52548/JICP8041
[16] https://vector.tno.nl/publish/pages/5300/vch202405_key_insight_4.pdf

Technologie	Huidig prijsniveau t.o.v. fossiel	Geschat prijsniveau in de toekomst t.o.v. fossiel	Belangrijkste drijver
Dissolutie recycling	++	-/0/+	Dissolutie levert virgin kwaliteit, technologie kan nog worden geoptimaliseerd
Chemische recycling			
Solvolyse	++	-/0/+	Solvolyse levert virgin kwaliteit, technologie kan nog worden geoptimaliseerd
Pyrolyse	+++	++	Heeft kwalitatief hoogwaardige input nodig en meer stappen dan bij fossiel.
Vergassen	+++	+	Kan laagwaardige afvalstromen verwerken, maar is minder efficiënt dan vanuit fossiel.
Biogebaseerde productie			
Bionafta (als bijproduct van HVO)	+++	+/+++	Door afname van gebruik van bionafta als brandstof kan de prijs lager worden. Bij afname van de productie van HVO kan de bionaftaproductie ook wegvallen waardoor de prijs toeneemt.
Pyrolyse	+++	++/+++	Bij opschalen kan de prijs zakken, maar bij opschalen kan er ook een tekort aan hoogwaardige biomassa ontstaan.
Vergassen	+++	+/++	Door opschalen kan de prijs zakken, er is wel een maximum aan laagwaardige biomassa beschikbaar.
Directe omzetting/ disruptives	+/++	?	Technologische doorbraken kunnen de prijzen sterk laten dalen. De omvang van de markt bepaalt hoeveel biomassa beschikbaar is en heeft daarmee een invloed op de prijs van de grondstof.

Technologie	Huidig prijsniveau t.o.v. fossiel	Geschat prijsniveau in de toekomst t.o.v. fossiel	Belangrijkste drijver
Carbon capture and utilisation			
CCU	++++	+++	CCU is sterk afhankelijk van de energieprijzen. Het ligt niet in de verwachting dat de energieprijzen in Europa zo laag worden dat CCU gaat lonen.

-/0/+: prijzen liggen rond die van fossiel, +: prijzen liggen net boven die van fossiel, ++ prijzen liggen boven die van fossiel, ++ prijzen liggen ruim boven die van fossiel, +++: prijzen liggen ver boven die van fossiel, ++++: prijzen liggen zeer ver boven die van fossiel

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan de conclusies die getrokken kunnen worden uit de verkenning die is uitgevoerd naar mogelijke transitiepaden naar een duurzame koolstofchemie in Nederland. Hiervoor zijn een 4-tal scenario's geformuleerd. Hieronder staan de conclusies over het transitiepad die we op basis van de verschillende scenario's kunnen trekken. De specifieke conclusies per scenario zijn te vinden in hoofdstuk 3. Daar waar mogelijk geven we per conclusie een aanbeveling voor Rijksoverheid en de chemische sector.

4.1 Zonder maatregelen in 2050 geen duurzame koolstofchemie

Om de transitie naar een duurzame koolstofchemie op gang te krijgen zijn er drijvende krachten nodig zoals marktvraag, emissie-eisen, of tekorten aan fossiele grondstoffen. Deze krachten zijn op dit moment niet groot genoeg om de transitie naar fossielvrij op gang te krijgen. Het gebruik van fossiel, is zo geoptimaliseerd en efficiënt dat andere combinaties van grondstoffen en technologieën onvoldoende van de grond komen.

Hoewel er, zowel bij nieuwe partijen in de recycling en biogrondstoffen als bij bestaande partijen in de fossiele industrie, plannen zijn om te verduurzamen, staan investeringsbeslissingen op dit moment on hold. De barrières zijn te groot in vergelijking met de drijvende krachten om te verduurzamen.

De chemische industrie bevindt zich momenteel in Europa in zwaar weer. Eén van de oorzaken hiervan zijn de hoge energiekosten. Naar verwachting zullen deze energiekosten de komende jaren hoog blijven, en mogelijk verder stijgen[17]. Andere oorzaken zijn het tekort aan elektriciteit om te verduurzamen en de trage vergunningverlening. Deze omgevingsfactoren zullen de komende jaren naar verwachting niet veranderen. Dit leidt ertoe dat grootschalige investeringen lastig te realiseren zijn in de Nederlandse chemiesector.

Een duurzame koolstofchemie in 2050 vereist dat we vanaf nu in een heel snel tempo de omslag gaan maken. Het bouwen van nieuwe fabrieken kost veel tijd, denk aan perioden tot 10 jaar per fabriek. De huidige fabrieken zijn veelal gebouwd op een fossiel systeem, om een andere grondstof te gebruiken moet de fabriek worden omgebouwd of moeten er nieuwe fabrieken worden opgestart. Daarnaast vragen investeerders om een proof of concept voordat ze bereid zijn te investeren in een grotere fabriek, waardoor de totale opschaling- en realisatietijd van een nieuwe innovatie nog langer duurt (afhankelijk van het TRL niveau van de technologie is dit al snel 10 tot 20 jaar). Dit betekent dat de periode tot 2050 beperkt is om de omslag te maken naar een duurzame koolstofchemie.

In de onderzochte scenario's wordt een duurzame koolstofchemie bereikt door stevige externe factoren zoals sturing vanuit de overheid, grote maatschappelijke druk, een handelscrisis of een disruptieve technologie.

[17] https://www.pwc.nl/nl/perscentrum/toename-integrale-energierekening-nederland-in-2030.html

Maar zelfs in deze relatief extreme scenario's wordt een duurzame koolstofindustrie niet bereikt zonder ingrijpen of sturing van de overheid. Doordat fossiele grondstoffen goedkoper zijn zal vanuit de markt de reactie zijn om de huidige fossiele keten zo lang mogelijk in stand te houden.

4.2 No regret maatregelen, ongeacht het scenario dat werkelijkheid wordt

De 4 scenario's zijn allemaal heel uiteenlopend, maar er zijn een aantal overheidsmaatregelen die in elk van de scenario's van toegevoegde waarde zijn, de zogenaamde 'no regret' maatregelen.

- In elk van de beschreven scenario's is een drijvende kracht uitvergroot. Elk van de beschreven transities worden voorafgegaan door voorspellende signalen. Het is van belang om als overheid en chemiesector deze voorspellende signalen te monitoren
- Het is van belang om voorbereid te zijn op een omschakeling naar biobased en recycling feedstock. Hierbij moet aandacht zijn voor:
  - Het beschikbaar maken van deze alternatieve grondstoffen, bijvoorbeeld via grondstofpolitiek
  - Voldoende capaciteit voor transport en opslaginfrastructuur
  - Het kunnen maken van een snelle slag door chemiebedrijven, door hiervoor bijvoorbeeld dus ruimte en vergunningsruimte vrij te houden
  - Financiering voor nieuwe technologie en opschalen, het is dus van belang dat financiers op tijd worden meegenomen in de transitie
- Daarnaast is het van belang om nu alvast te beginnen met een rustige omschakeling naar een duurzamere koolstofchemie zodat er ervaring opgedaan kan worden. Denk hierbij aan:
  - Het ondersteunen en faciliteren om op pilotschaal fabrieken te bouwen
  - Het stimuleren en opbouwen van markten voor biobased en (plastic)afval bijvoorbeeld door een bijmengverplichting, inkoopbeleid door overheidsorganen en subsidiëren van innovatieve initiatieven in deze sectoren om kennis te stimuleren. Daarnaast moeten de bedrijven die de transitie beginnen worden beschermd tegen de bedrijven die (nog) niet beginnen met de transitie
  - Het actief lobbyen in Europa voor verplichte toepassing van biobased materiaal en recyclaat in steeds meer productgroepen zoals bouwmaterialen en textiel. Hierdoor wordt een markt gecreëerd waarin de duurdere duurzame grondstoffen niet hoeven te concurreren tegen fossiele grondstoffen. Een dergelijke markt creëren voor alleen Nederland raden we af, omdat de Nederlandse markt te klein is om het aanpassen van productieketens interessant te maken
  - Duidelijke regels, normeringen en certificeringsschema's ontwikkelen voor duurzame chemische producten. Een voorbeeld hiervan is het opstellen van massabalansregels, want het is nu niet precies duidelijk hoe duurzame grondstoffen mogen worden gealloceerd aan producten. Het is voor zowel producenten in de chemische sector als voor producenten die gebruik maken van chemicaliën van belang dat zij transparant aan kunnen geven hoe duurzaam hun product is
  - Fossiele grondstoffen steeds een beetje minder interessant maken als grondstof via bijvoorbeeld beprijzing. Hierdoor ontstaat er geleidelijk groeiende drijvende kracht naar verduurzaming die leidt tot een geleidelijke overgang

- De transitie naar een duurzame koolstofchemie vereist dat een deel van de bestaande fabrieken moeten worden vervangen door nieuwe fabrieken. Omdat biobased materiaal, gerecyclede grondstoffen of via CCU geproduceerde chemicaliën een langere keten doorlopen, zal er bij gelijk volume in zijn geheel meer bedrijvigheid nodig zijn. Als we willen dat deze bedrijvigheid zich in Nederland vestigt dan is het belangrijk dat het vestigingsklimaat in Nederland op orde is
- Geef voldoende aandacht aan de deelsectoren waar relatief weinig grondstoffen nodig zijn maar waar een hoge toegevoegde waarde zit, zoals de farmaceutische industrie en specialistische coatings en verven. Naar verwachting blijven die deelsectoren in alle scenario's in stand

Een uitkomst uit het onderzoek (dat niet specifiek uit de scenario's naar voren komt) is dat het voor de feedstocktransitie belangrijk is, dat het energiesysteem toereikend is. De chemiesector en heel Nederland moet dus op voorbereid zijn dat er een ander energiesysteem zal ontstaan. Denk bij dat andere energiesysteem aan:

- Omgaan met minder beschikbaarheid van nafta uit aardolieraffinage als er minder fossiele brandstoffen nodig zijn voor transport, en de opkomst van bionafta
- Zorg voor de beschikbaarheid van voldoende waterstof, want waterstof is bijvoorbeeld nodig om pyrolyseolie te upgraden

Deze no regret maatregelen staan in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

4.3 Toename van de drijvende kracht wordt vooraf gegaan door voortekenen, volg die voortekenen

Voor ieder van de scenario's zijn er nu al voortekenen die aangeven dat de veranderingen in de maatschappij plaats vinden in een richting die de drijvende krachten zouden kunnen versterken. Zie hoofdstuk 2 waarin deze voortekenen per scenario staan weergegeven. Om op tijd te kunnen inspelen op toekomstige scenario's is het van belang om zicht te houden op deze voortekenen. Dit zou de overheid kunnen doen door samen met de chemiesector jaarlijks een brede scan uit te voeren naar voortekenen die kunnen wijzen op een toename in een van de drijvende krachten. Voortekenen die hierin van belang zijn:

- Sturing vanuit de Europese Unie op het gebruik van specifieke niet-fossiele grondstoffen. – Wanneer vanuit de EU steviger gestuurd gaat worden op de inzet van specifieke grondstoffen (bijvoorbeeld biobased grondstoffen of recyclaat) dan is dit een duidelijk signaal voor Nederland om de sector hierop voor te bereiden
- Toename van wetenschappelijk bewijs over de schade en impact van microplastics op de gezondheid – Dit is een voorspellend signaal dat er maatschappelijke onrust gaat ontstaat over de veiligheid van plastic wat kan leiden tot de afkeer ervan
- Sterke stijging van energie- en grondstofprijzen – Wanneer belangrijke handelspartners hogere tarieven gaan vragen (of ermee dreigen) voor grondstoffen en energie is dat een teken dat er mogelijkerwijs een handelsoorlog kan ontstaan resulterend in (flinke) prijsstijgingen

- Groei van technologie die in staat lijkt op termijn op grote schaal duurzame basischemicaliën te produceren – Het is van groot belang om binnenlandse en buitenlandse chemie-innovaties in de gaten te houden en te monitoren in hoeverre ze een rol zouden kunnen spelen in de transitie naar een duurzame koolstofchemie. Hierbij is het van belang om een goed beeld te hebben van de wenselijkheid, haalbaarheid, schaalbaarheid en inpasbaarheid van deze nieuwe technologieën

4.4 Bereid je voor door de vervangende koolstofbronnen in producten te stimuleren

In iedere transitie van een bedrijfssector naar een nieuw duurzamer evenwicht zullen nieuwe ideeën, technologieën, productieketens en producten moeten worden ontwikkeld. Dit wordt het nieuwe regime genoemd. Omdat het huidige regime door de omstandigheden waarin het is gegroeid geoptimaliseerd is voor de huidige situatie, is het voor een nieuw regime lastig om te concurreren met het huidige regime. De prijzen van biobased grondstoffen en gerecyclede grondstoffen zijn op dit moment enkele malen hoger dan die uit fossiele bronnen[18]. Toch is het belangrijk om nu al de vervangende koolstofbronnen (zoals biobased grondstoffen en recyclaat) te stimuleren. De meest effectieve maatregel is het verplicht stellen van een aandeel biobased of recyclaat in verschillende productgroepen. Dit zou op Europees niveau moeten worden georganiseerd omdat de Nederlandse markt te klein is om veranderingen af te dwingen. In de uitwerking van de Ecodesign Richtlijn (ESPR) voor verschillende producten kunnen bijvoorbeeld dit soort content-eisen worden opgenomen. Nederland kan zich in Europees verband hard maken voor hoge recycled of biobased content percentages[19]. Hierdoor ontstaat vraag naar de biobased en/of secundaire grondstoffen en ontstaat er dus een markt waar de chemische industrie aan kan leveren. Als die markt lucratief genoeg en stabiel genoeg is dan volgen vanzelf investeringen vanuit de chemische sector. Maar (Europese) fondsen helpen natuurlijk ook de transitie te versnellen, en ook fiscale of subsidiemaatregelen om het prijsverschil kleiner te maken kunnen helpen. Daarnaast kan vanuit de overheid innovatie in de richting van duurzame grondstoffen voor de chemie en omzettingstechnologie worden gestimuleerd. Consistentie is hierbij van belang. Voor de chemiesector is het van belang om de juiste intellectuele eigendommen te verkrijgen in de technologieën die in de toekomst nodig zijn voor de transitie.

Voor een goed werkende markt moet helder zijn wat de eisen zijn aan de producten en hoe dit kan worden aangetoond. Bij dat laatste onderwerp heeft de overheid een belangrijke rol. Want dat betekent dat er ook moet worden gestuurd op het opbouwen van voldoende capaciteit bij certificerende instellingen en bij handhaving.

Om de vervangende koolstofbronnen te stimuleren is het ook belangrijk om de inzameling, opslag en transport van de volumineuze grondstofstromen te faciliteren, net als onderzoek naar de beschikbaarheid van materialen uit de landbouw die als grondstof kunnen dienen.

[18] Uit verschillende interviews komen prijzen die 2,5 tot 4 keer hoger liggen dan wanneer de producten uit fossiele bronnen worden gemaakt. https://doi.org/10.1002/bbb.1786 geeft ook voor een range van biobased producten aan dat zij over het algemeen (veel) duurder zijn dan hun fossiele tegenhanger.
[19] In de Packaging and Packaging Waste Regulation staan wettelijke eisen voor inzet van recyclaat in plastic verpakkingen. Nederland kan er op aandringen om ook eisen voor inzet van recyclaat of biobased op te nemen voor andere productgroepen.

4.5 Bescherm de EU-markt

De chemiesector opereert in een wereldwijde markt. De producten die in de basischemie worden geproduceerd zijn grondstoffen voor vele vervolgprocessen. Op kwaliteit van deze basischemicaliën kan nauwelijks worden geconcurreerd. De prijs is de enige factor. Het belang van prijs neemt wel iets af hoe verder je in de keten komt, maar ook de halffabricaten en uiteindelijk ook de eindproducten zullen het bij een gelijke kwaliteit afleggen tegen concurrentie uit het buitenland als de producten duurder zijn.

Om een markt voor duurzamere producten te stimuleren, kunnen eisen worden gesteld aan de duurzaamheid van de op de Europese markt te brengen producten. Belangrijk is dat deze markt niet alleen op papier bestaat maar dat hij ook aan de grens wordt bewaakt, zodat niet duurzame producten alsnog op de Europese markt kunnen komen. Als de markt voor duurzame producten niet op Europees niveau tot stand komt dan kan door duurzaam inkopen van Nederlandse overheden in Nederland een (beperkte) markt worden gecreëerd. Dit is een goede aanpak om alvast te starten, maar geen vervanging van duurzaamheidseisen aan producten vanuit Europa.

4.6 Ontwikkel een koolstofhandelsstrategie met bijbehorende handelsrelaties

De transitie naar duurzame koolstofchemie vereist dat we kunnen beschikken over voldoende (duurzame) grondstoffen. In Nederland beschikken we niet over voldoende duurzame koolstof om te voorzien in de behoeften van de chemische industrie. Het landoppervlak in Nederland is te klein om de huidige omvang van de chemie te voorzien van biobased materiaal, tenzij de sector sterk in omvang wordt gereduceerd. Ook ontstaat in Nederland niet voldoende (plastic)afval om de chemiesector in haar huidige omvang van feedstock te voorzien. Als die reductie ongewenst is dan is het belangrijk om nu al te gaan kijken waar we in de komende decennia voldoende koolstof vandaan gaan halen. Dit kan zijn in de vorm van biogrondstoffen. In dat geval zal er nu al nagedacht moeten worden uit welke landen de toekomstige biogrondstoffen vandaan gaan komen en kunnen hier al relaties mee worden gelegd. Als we koolstof uit kunststoffen halen dan moeten we nu al kijken waar we (kunststof)afval vandaan kunnen halen. Nederland is van oudsher sterk in het verwerken van afval uit andere landen, dus het ligt voor de hand om dit uit te bouwen. Voor biogrondstoffen geldt dat we daar altijd minder van zullen hebben dan landen met een groter oppervlak. Het ligt voor de hand dat we uit die landen halffabricaten gaan importeren.
Om schokken in de industrie te voorkomen is het belangrijk om over voldoende fossiele grondstoffen te kunnen blijven beschikken terwijl we die in de komende tijd afbouwen. Hiervoor kan diplomatie vanuit de Nederlandse overheid een belangrijke rol spelen, maar is ook diplomatie vanuit Europa nodig. Het is dus belangrijk dat Nederland op Europees niveau steeds is aangehaakt bij wat de Europese Commissie van plan is te gaan doen, zodat zo nodig de Nederlandse visie kan worden gedeeld en er zo veel mogelijk op kan worden gestuurd.

4.7 Neem de maatschappij mee in de transitie

Een transitie naar een duurzame koolstofchemie betekent dat er veranderingen plaats gaan vinden in de maatschappij. Daarom is het van belang dat de maatschappij meegenomen wordt in het veranderen van het consumptiepatroon.

Door duidelijk te maken waar de chemiesector naar toe moet gaan bewegen ontstaat duidelijkheid. Consumenten moeten worden meegenomen om onrust te voorkomen, zij moeten worden voorbereid op veranderingen in de producten die zij kunnen kopen. Niet alleen gewenste veranderingen, maar ook veranderingen door schokken in productieketens. Door ingrepen vanuit de overheid kan de consumptie van producten of diensten met daarin veel fossiele grondstoffen worden ontmoedigd, en producten met daarin minder fossiele grondstoffen worden aangemoedigd. Voorbeelden hiervan zijn het verplichte aandeel recyclaat in kunststof verpakkingen die op dit moment via de Europese Verpakkingen en Verpakkingsafval Verordening worden geïntroduceerd. Maar ook voorlichting over de (on)gewenstheid van het gebruik van bepaalde producten en diensten kan een rol spelen. Op deze manier zal een transitie naar andere grondstoffen met minder chaos verlopen. Denk aan het stimuleren van verf uit lijnolie, of plastic producten uit recyclaat of biogebaseerde grondstoffen. Door de consument te laten wennen aan dit soort producten kan de maatschappij worden klaar gemaakt voor de transitie. Daarnaast kunnen prijzen van duurzame en minder duurzame producten ook worden beïnvloed door de overheid (bijvoorbeeld door subsidies voor duurzame grondstoffen of een lager BTW tarief op duurzame alternatieven), zodat een verschuiving ontstaat.

4.8 Creëer een goed vestigingsklimaat

Een transitie naar een duurzame koolstofchemie vereist dat er nieuwe fabrieken worden gebouwd. Verwerken van biogrondstoffen en afvalstoffen tot chemicaliën vereist namelijk meer stappen dan in de huidige chemische sector worden gedaan, en voor iedere stap is een fabriek of deelfabriek nodig. Om ervoor te zorgen dat de nieuwe fabrieken voor duurzame grondstoffen in Nederland komen is het belangrijk dat het vestigingsklimaat in Nederland op orde is.

Dat betekent dat er voldoende fysieke ruimte moet zijn, maar ook voldoende milieuruimte.
De overheid zal in afstemming met de chemieclusters moeten komen tot overwegingen welke duurzame technologieën (die passen in een duurzame koolstofchemie) voorrang zouden moeten krijgen en hoe daarvoor ruimte kan worden gecreëerd, of beschikbaar kan worden gesteld op het moment dat een andere fabriek stopt.

Als een keuze is gemaakt waar de nieuwe fabrieken moeten komen is het van belang dat er een gestroomlijnd vergunningensysteem is. Vergunningen aanvragen in Nederland is tijdsintensief en door de keuzes die gemaakt zijn worden toegekende vergunningen soms door de rechter teruggedraaid. Dit is funest voor het vertrouwen van (buitenlandse) investeerders in nieuwe fabrieken. De overheid dient dus te zorgen voor voldoende ambtenaren die goed zijn opgeleid om te beoordelen of een vergunning toegekend kan worden zonder risico voor de omgeving.

Er moet voortdurend worden onderzocht of er belemmeringen zijn bij het opschalen van processen. Deze belemmeringen moeten zo snel mogelijk worden weggenomen. Daarbij is een samenwerking tussen de sector en de overheid van belang omdat sommige belemmeringen eerder weggenomen kunnen worden door de overheid (wetgeving) en andere belemmeringen door de markt (marktvertrouwen, certificering).

Omdat alle fabrieken energie nodig hebben om te kunnen worden bedreven is een goede aansluiting op een energienetwerk van belang. In een duurzame economie zal dat voornamelijk gaan over een aansluiting op een elektriciteitsnet of een waterstofnet of een combinatie tussen beiden. Als aansluitingen niet op tijd geleverd kunnen worden dan worden fabrieken buiten Nederland gebouwd. Volgens het PBL is het waarschijnlijk dat er ook nog in 2050 kleine hoeveelheden fossiele brandstoffen worden gebruikt als energiedrager, die fossiele brandstoffen worden volgens de verwachting in Nederland gecompenseerd.[20] Als onderdeel van het vestigingsklimaat richting 2050 moet er dus ook ruimte zijn om in steeds mindere mate gebruik te maken van fossiele brandstoffen en moet er voldoende capaciteit zijn om dit gebruik te compenseren.

Ook de aanwezigheid van voldoende en goed geschoold personeel is benoemd in de sessies. Het is dus van belang om te blijven investeren in opleidingen. Denk hierbij ook aan de vaardigheden die nodig zijn om de transitie mogelijk te maken zoals opleiding in het concept Safe and Sustainable by Design en circulaire economie.

Daarnaast is een stabiel overheidsbeleid belangrijk, investeringen in chemische infrastructuur zijn kapitaalintensief en moeten zich in lange tijd terugverdienen, dus is stabiliteit van het beleid belangrijk.

Als laatste noemen we toegang tot financiering. Het vestigen van nieuwe bedrijvigheid vereist voldoende toegang tot financiering. De chemiesector is tenslotte sterk kaptaalintensief. Met de bankensector kan gezamenlijk worden opgetrokken om financieringen in duurzame chemie mogelijk te maken. Als bij voorbaat duidelijk is dat ook overheidspartijen een deel van de duurzame chemie financieren dan versterkt dit het vestigingsklimaat aanzienlijk.

4.9 Maak een keuze in welke delen van de chemie Nederland altijd wilt behouden, en communiceer deze keuze

De verschillende deelsectoren van de koolstofchemie hebben verschillende randvoorwaarden nodig. De omschakeling naar duurzame grondstoffen is voor producten met een hogere toegevoegde waarde per ton bijvoorbeeld gemakkelijker dan voor producten waar de marges laag zijn. Daarnaast blijkt uit de kwantitatieve analyse van de scenario's (bijlage 4) dat een verminderd productievolume niet per definitie hoeft te leiden tot een daling van evenveel financiële omzet. In de afweging moet verder worden gekeken dan de chemie, denk ook aan de koppelingen met brandstof, bouw en landbouw. Het is een politieke keuze om aan te geven welke deelsectoren van de chemie we in Nederland willen behouden, en deze besluitvorming gaat over veel meer onderwerpen dan waar dit rapport zich op richt (zoals de energietransitie, strategische autonomie en keuzes in ruimtegebruik). Eén van de dilemma's hierin is het behoud van de basischemie. Als de basischemie fossielvrij wordt, dan bieden zij ook veelal de halffabricaten voor de andere deelsectoren. Ook levert de geografische nabijheid sterke voordelen voor andere deelsectoren. Het fossielvrij krijgen van de basischemie zal echter zeer uitdagend zijn door de relatief lage prijzen, grote ruimte- en energievraag en lijkt in sommige scenario's vrijwel onmogelijk.

[20] Ook controversiële opties nodig voor klimaatneutraal Nederland in 2050 | Planbureau voor de Leefomgeving

Uit de kwantitatieve analyse van de scenario's komt bovendien naar voren dat bij beleid gericht op het in 2050 fossielvrij krijgen van de chemiesector in Nederland, er (bij een gelijkblijvend productievolume) problemen ontstaan met het verkrijgen van voldoende alternatieve feedstock. In Nederland beschikken we naar verwachting niet over voldoende biobased materialen, en is er ook niet voldoende afval beschikbaar. Met deze situatie in combinatie met de keuze voor volledig fossielvrij wordt er impliciet ook gekozen voor een kleinere chemische sector in Nederland. Dit onderschrijft de notie dat (politieke) besluitvorming nodig is om aan te geven welke deelsectoren van de chemie we in Nederland willen behouden.

Vanwege het bovenstaande is het belangrijk keuzes te maken en die effectief uit te dragen. Door duidelijk te communiceren over de keuzes die worden gemaakt weten investeerders of hun onderneming in de toekomst gesteund zal worden of niet, en kunnen zij daar rekening mee houden in hun risicobeoordeling.

4.10 Maak slim gebruik van de kansen die er liggen in de energietransitie

De chemische industrie is verweven met de fossiele brandstofindustrie, aangezien veel chemische producten, zoals kunststoffen en chemicaliën, worden vervaardigd uit aardolie en aardgas. Naast het feit dat we voor een circulaire transitie staan, staan we ook voor een energietransitie waarbij fossiele grondstoffen steeds meer uitgefaseerd zullen worden. Hierdoor ontstaan er kansen voor de duurzame koolstofindustrie. Denk aan de biobrandstoffenindustrie. Naar verwachting zullen biobrandstoffen een steeds grotere vlucht gaan nemen in de komende jaren, maar bouwen zij wellicht ook weer af in de periode daarna. Dan komt bionafta mogelijk beschikbaar voor de chemiesector. Datzelfde geldt ook voor de productie van biogas. Mocht het de biogasindustrie lukken om de opslag- en transportkosten van biogas te optimaliseren, dan is dit ook een mogelijke input voor de chemische industrie. Verder is er veel waterstof nodig als de route via pyrolyseolie wordt gevolgd. In de energietransitie wordt waterstof als een belangrijke energiedrager ontwikkeld. Een verlaging van de productiekosten heeft ook direct positieve effecten op de transitie van de chemiesector.

Bijlage 1 Werkwijze

Scope

Het projectteam heeft met het ministerie een afbakening gemaakt van wat wel en niet tot de scope van dit onderzoek moet worden gerekend om het project binnen de gestelde tijd af te kunnen ronden. De scope staat hieronder weergegeven:

Welke sectoren worden er wel en niet meegenomen in het project?

Dit traject richtte zich uitsluitend op de organische chemie (chemie gebaseerd op koolstof); het energetisch gebruik van (duurzame) koolstof in de chemische industrie is buiten beschouwing gelaten. Alleen de processen waarin zowel koolstof in de feedstock als in het product aanwezig is, zijn onderdeel van de scope. Hierdoor is de productie van N-kunstmest uitgesloten. Hoewel er in de staalproductie een klein beetje koolstof wordt gebruikt, valt de staalindustrie ook buiten de scope van dit project. Energetisch gebruik is uitgesloten in de scope. In dit project is aangenomen dat de energietransitie zich doorzet en in 2050 is afgerond. Dist is dus als een randvoorwaarde meegenomen. We houden wel rekening dat in de energietransitie dezelfde bronnen worden aangewend. Duurzame bronnen voor waterstof als feedstock zijn eveneens uitgesloten, maar worden wel benoemd bij de relevante scenario's.

In dit onderzoek ligt de focus op chemische processen; de verwerking tot eindproduct is niet meegenomen. De productie van polymeerpoeder valt binnen de scope, terwijl het converteren tot pellets van hetzelfde poeder buiten de scope valt.

Welke technieken worden er wel en niet meegenomen in het project?

We keken niet alleen naar technieken die fossiele koolstof konden vervangen door het bijmengen in bestaande fossiele infrastructuur, maar ook naar andere of nieuwe technieken om producten te vervaardigen, zoals solvolyse, depolymerisatie en novel biogebaseerde chemicaliën (zoals PLA en PEF) en Carbon Capture & Utilisation (CCU).

Wat is duurzame koolstofchemie?

Een duurzame koolstofchemie definiëren wij als een chemie die gebruik maakt van duurzame grondstoffen, dit zijn:

- Chemisch gerecyclede materialen (zoals solvolyse en depolymerisatie)
- Biogebaseerde materialen (zowel drop-in substitutie van bestaande commodities als novel biogebaseerde chemicaliën (zoals PLA en PEF)
- Chemicaliën uit Carbon Capture and Utilisaton (CCU)

Het gebruik van deze duurzame grondstoffen moet bijdragen aan:

- Overall lagere milieu-impact, inclusief klimaatverandering, biodiversiteitsimpact en uitputting van natuurlijke hulpbronnen
- Minder risico voor de menselijke gezondheid
- Meer leveringszekerheid

Bij elke keuze voor een grondstof werd een afweging gemaakt tussen de bovenstaande bijdragen.

Mechanische recycling behoort niet tot de chemie, en zal als zodanig niet meegenomen worden in de scope, maar via mechanische recycling wordt wel de vraag naar virgin of zo goed als virgin stoffen verlaagd. Dit werd in de analyse meegenomen.

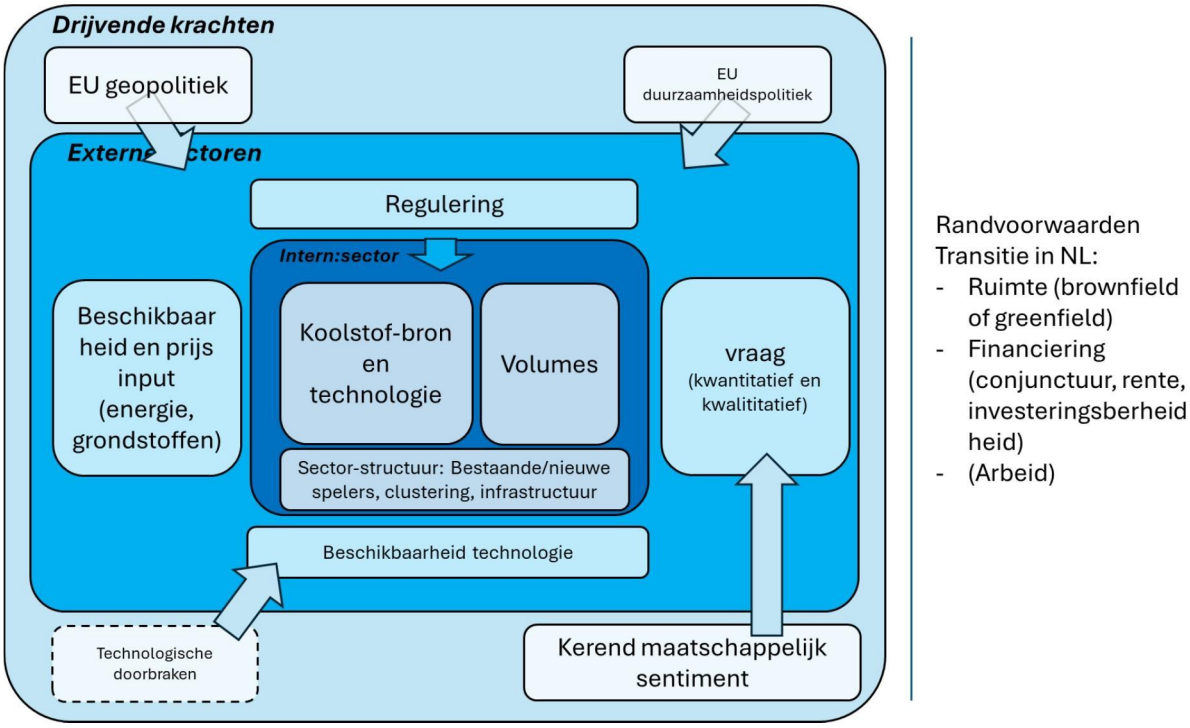
Bijlage 2 Scenario-logica

Deze bijlage beschrijft de stappen en bijbehorende logica die is toegepast om te komen tot de scenario's.

Bij het opstellen van de scenario's hebben we een focus op een duurzame koolstofbron, en we kijken minder naar bijvoorbeeld duurzame waterstofbronnen, en nemen aan dat procesenergie duurzaam is. We nemen wel de prijs en beschikbaarheid hiervan mee in de scenario's. Onze opdracht was te komen tot scenario's van een duurzame toekomst, daarom hanteren we een methode die scenario's waarin dit in 2050 nog niet het geval is, buiten beschouwing laat. Dat wil niet zeggen dat een langer tijdspad niet plausibel of, gezien vanuit het heden, mogelijk zelfs aannemelijk is.

We hanteren daarbij de volgende scenario-logica (in de onderstaande figuur van binnen-naar-buiten), die we hierna in meer detail zullen bespreken:

- Een duurzame koolstofchemie in Nederland heeft een aantal belangrijke eigenschappen, waaronder welke bron (technologie) levert duurzame koolstof, wat zijn de verandering in volumes, wat is de structuur van de sector
- Deze sectoreigenschappen worden door externe factoren bepaald, die de schaal van Nederland overstijgen. Dit zijn factoren zoals kostenenergie, regulering, beschikbare technologie, en vraag in markten
- Om in 2050 een duurzame koolstofchemie te bereiken, moeten deze factoren gunstig zijn voor een snelle omslag. Daarvoor onderscheiden we 4 onderliggende krachten die uit een desk study, interviews en vergelijking met andere transities naar voren komen. In elk van de 4 scenario's domineert een andere drijvende kracht. Ook typeren we nog de transitiedynamiek: is het transitiepad vanuit deze drijvende kracht bijvoorbeeld relatief geleidelijk, of meer schoksgewijs?
- Tot slot vergt ook als op Europees niveau de voorwaarden gunstig zijn, er nog Nederlandse randvoorwaarden die in elk scenario nodig zullen zijn



Figuur B2.1 Het scenario raamwerk en de randvoorwaarden

Externe factoren

Vanuit de analyse in het vorige hoofdstuk komen een groot aantal ontwikkelingen naar voren. Deze ontwikkelingen hebben we vertaald in een longlist van externe factoren, waarvan we een inschatting gemaakt hebben van de onzekerheid en impact op de sector. Dit leidt tot 3 type factoren (zie ook Tabel B2.1) voor de scenario's:

- Middel tot hoge impact & zekere factoren (hoge kans): deze komen in elk scenario terug. Bijvoorbeeld: in alle scenario's zijn in de EU duurzame energieprijzen relatief hoog
- Middel tot hoge impact & onzeker (middelgrote kans): dit zijn de factoren die in verschillende scenario's verschillend zullen uitvallen en dus leiden tot differentiatie in toekomstbeelden
- Hoge impact & onzeker (kleine kans): dit zijn 'zwarte zwaan' events: ontwikkelingen die niet heel waarschijnlijk zijn, maar als ze zich voordoen wel een groot disruptief effect hebben

Tabel B2.4.1

<table>
<tr><th></th><th>Onzeker
(kleine kans)</th><th>Onzeker
(middelgrote kans)</th><th>Zeker
(hoge kans)</th></tr>
<tr><td>Hoge impact</td><td>‘Zwarte zwaan’</td><td rowspan="2">Scenario onderscheidend</td><td rowspan="2">Impact in elk scenario</td></tr>
<tr><td>Middel impact</td><td rowspan="2">Negeren</td></tr>
<tr><td>Lage impact</td><td colspan="2">Negeren</td></tr>
</table>

Overige combinaties van onzekerheid en impact worden niet meegenomen. Tabel B2.2 laat het resultaat van deze inventarisatie zien.

Tabel B2.4.2 Inventarisatie van onzekerheden en impacts van verschillende externe factoren

Externe factor		Onzekerheid	Impact
Input kosten en beschikbaarheid	Energieprijzen EU	Laag	Hoog
	Beschikbaarheid biomassa	Middel	Hoog
	Beschikbaarheid geconcentreerde CO2	Middel	Hoog
	Beschikbaarheid C-houdend afval	Laag	Hoog
Regulering	Recyclaat 'bijmengverplichting', recyclingdoelstellingen, UPV’s et cetera	Middel	Hoog
	Significante Plastic ban uitbreiding	Zwarte Zwaan	
	Beprijzing CO2 / CBAM	Middel	Hoog
	Export / importbeperkingen	Hoog	Hoog
Technologische ontwikkeling	Mechanische recycling	Laag	Middel
	Chemische recycling	Middel	Hoog
	Biobased technologie (nieuwe commodities)	Hoog	Hoog
	Biobased technologie (bestaande commodities)	Middel	Hoog
	CCS	Middel	Middel
	CCU	Zwarte Zwaan	
Output vraag en prijzen	Volumes nodig in EU	Middel	Hoog
	Eis Afbreekbaar in natuur	Zwarte Zwaan	
	Markten buiten EU open	Middel	Middel
Ruimtelijke randvoorwaarden NL		Middel	Hoog
Arbeidsmarkt NL (voldoende technisch personeel)		Middel	Middel
Toegang en kosten financiering		Middel	Middel

Nederlandse randvoorwaarden

Tot slot zijn er een aantal **Nederlandse randvoorwaarden**, die ongeacht de drijvende kracht, nodig moeten zijn om in Nederland de chemie, en dan vooral de basischemie, de transformatie te laten maken. Zoals ruimte, arbeid en investeringen.

Drijvende krachten achter versnelde transitie

De volgende stap in het bepalen van onze scenario-logica[21], is te kijken welke grotere ontwikkelingen als 'drijvende kracht' de hiervoor besproken factoren als geheel gunstig[22] zou maken voor een snelle omslag. In de bijlage over de huidige sector en ontwikkelingen staat beschreven dat hoewel er positieve ontwikkelingen zijn, een snelle omslag die leidt tot een duurzame koolstofchemie in 2050 verre van vanzelfsprekend is, gezien hoe de hiervoor besproken factoren zich nu ontwikkelen. De vraag is dus: wat moet er dan in de bredere omgeving veranderen om tot een versnelling van de trend, en soms zelfs trendbreuk, te komen en wat zou een plausibele oorzaak van die verschuiving in de omgeving kunnen zijn? Vanuit het eerder gedane onderzoek (literatuur en interviews) zien we 4 mogelijke drijvende krachten, die we hierna zullen bespreken. Wij zien dit als plausibele scenario's. Ze zijn met aannames binnen de grenzen van het redelijke over de toekomst mogelijk en intern consistent. Dat betekent nog niet per se dat individueel of gezamenlijk het ook waarschijnlijk is dat dit gebeurt. Ze vergen alle in enige mate een onverwachte wending. Tegelijk weten we van de geschiedenis van transities dat onverwachte wendingen die transities een extra zet in de rug geven voorkomen.

***(Sterker) EU beleid**: bij deze drijvende kracht kom er een Green Deal 2.0, die de volgende grote push aan de vergroening van de industrie geeft via investeringsfondsen, beprijzing CO_2, aanscherpen CBAM in combinatie met reductie carbon leakage vrijstellingen, verregaande bindende recycling doelen, plastic bans, et cetera.*

Om de industrie nog genoeg tijd te geven om de overgang te maken, zou het EU-beleidsproces hiervoor aanzienlijk sneller dan normaal moeten gaan. Dit zou bijvoorbeeld kunnen als één of meer klimaatnatuurrampen de EU in een modus van slagvaardigheid brengen vergelijkbaar met Brexit, COVID of Oekraïne.

***EU geopolitieke blokvorming (autarkie):** bij deze drijvende kracht wil de EU in hoge mate zelfvoorzienend zijn in organische chemicaliën. Niet alleen voor bijvoorbeeld medicijnen, maar ook bulkmaterialen zoals kunststofproductie. Dit sluit grootschalige import van materiaal uit, omdat er bijvoorbeeld importbeperkingen zijn, of zwarte importheffingen. In een meest extreme variant zouden er veiligheidsbeperkingen in de globale handel kunnen zijn.*

Op dit moment neemt de aandacht in EU-beleid voor strategische autonomie en zelfvoorzienend zijn toe. Dit gaat niet alleen over zeldzame aardmetalen, maar op de laatste 'critical raw material list' staan bijvoorbeeld ook bauxiet en cokes, waarin Europa zelf zou moeten voorzien. Ook komt er meer aandacht voor halffabricaten en producten die de EU zelf zou moeten vervaardigen. Tegelijk staat Europa's open handel beleid ook nog steeds overeind, en dwingt EU-zelfvoorziening nog niet af (bijvoorbeeld harde import/export beperkingen of zware subsidiering eigen winning/productie).

---

[21] Het is vaak gebruikelijk om scenario-dimensies in 2 richtingen te bekijken, bijv. in een klassiek scenario-assenkruis. Omdat we hier specifiek geïnteresseerd zijn in omstandigheden die een snelle omslag mogelijk maken, kijken we voor elke scenario-dimensie alleen naar het scenario waarin deze positief is

[22] Gunstig voor een snelle omslag betekent niet noodzakelijkerwijs gunstig vanuit maatschappelijk kosten-baten perspectief. Het bepalen van of een langzame of snelle transitie de beste kosten-baten verhouding kent, is buiten scope van dit rapport

Voor een zeer krachtig EU-beleid op dit niveau is het waarschijnlijk nodig dat veiligheidszorgen sterk toenemen, bijvoorbeeld door grote conflicten nabij fossiele bronnen of aanvallen/sabotage van olietransporten.

Vraag gedreven: *er ontstaat een maatschappelijk sentiment tegen 'forever plastics' of 'foreverpetrochemicals' of de 'plastic soep', afnemers van de chemische industrie veranderen daarom hun vraag. De gehele vraag naar kunststoffen neemt sterk af en van kunststoffen wordt geëist dat ze binnen redelijke termijn in natuurlijke omstandigheden veilig afgebroken worden.*

Ook deze 'drijvende kracht' vereist een omslag, namelijk in publieke perceptie, waarbij de nu beperkte zorgen in een relatief kleine kring zich snel uitbreiden.

Technologische doorbraken: *één of meer technologieën komt op een ontwikkelingscurve die atypisch is voor hedendaagse chemische procesindustrie en laat in relatief korte tijd spectaculaire kostenreducties en schaalsprongen zien.* Ook deze drijvende kracht vergt een onverwachte doorbraak, en is wellicht nog het meest van alle 4 een 'zwarte zwaan':

Van drijvende kracht naar scenario's

Het meest plausibel is dat alle, of meerdere, van deze drijvende krachten zich sterk voordoen om tot een duurzame koolstofchemie in 2050 te komen. Om een zo compleet mogelijk beeld van mogelijke toekomsten te maken, gaan we voor de scenario's er echter vanuit dat telkens 1 scenario domineert. Daarmee is er niet één van de scenario's het meest waarschijnlijk - want dat is een scenario dat tussen deze 4 in ligt - maar geven de beschreven scenario's de mogelijke richtingen aan.

De onderstaande figuren geven weer hoe de verschillende scenario's zijn opgebouwd wat betreft drijvende krachten en hoe dit de chemie (bronnen en sector) beïnvloedt.

Green Deal on Steriods

Externe factoren	input markt	Energieprijzen EU	Zeer hoog
		Grondstofprijzen / schaarste	Middel
	governance	Plastic ban, design en recyclingseisen	Hoog
		Beprijzing CO2 in EU	Extreem
	technologische ontwikkeling		Aanzienlijk
	output markt	Vraag volume in EU	Stabilisatie
		Open markt EU-Wereld	Laag
Transitiepad			strak pad

Chemie	C-bron	Mechanische recycling	Zeer hoog
		Chemische recycling	Zeer hoog
		Biobased	Middel
		CCU/CCS(+virgin)	CCS Hoog
	Sector	Basischemie (1e Energie intensieve stap)	Stabiel
		Clustering	Hoog
		Infrastructuur	publiek(e fondsen)
		Nieuw / bestaande spelers	Bestaand

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

Plastic Panic

Externe factoren	input markt	Energieprijzen EU	Hoog
		Grondstofprijzen / schaarste	Middel
	governance	Plastic ban, design en recyclingseisen	Middel
		Beprijzing CO2 in EU	Hoog
	technologische ontwikkeling		Aanzienlijk
	output markt	Vraag volume in EU	Reductie en afbreekbaar
		Open markt EU-Wereld	Hoog
Transitiepad			Fragmentatie

Chemie	C-bron	Mechanische recycling	Beperkt
		Chemische recycling	Beperkt
		Biobased	Zeer hoog
		CCU/CCS(+virgin)	Laag
	Sector	Basischemie (1e Energie intensieve stap)	Lager
		Clustering	Hoog
		Infrastructuur	privaat
		Nieuw / bestaande spelers	Nieuw

Geïsoleerd Europa

Externe factoren	input markt	Energieprijzen EU	Extreem
		Grondstofprijzen / schaarste	Zeer hoog
	governance	Plastic ban, design en recyclingseisen	Middel
		Beprijzing CO2 in EU	Hoog
	technologische ontwikkeling		Beperkt
	output markt	Vraag volume in EU	Reductie
		Open markt EU-Wereld	Zeer laag
Transitiepad			Crisis

Chemie	C-bron	Mechanische recycling	Extreem
		Chemische recycling	Extreem
		Biobased	Hoog
		CCU/CCS(+virgin)	Beperkt
	Sector	Basischemie (1e Energie intensieve stap)	Stabiel
		Clustering	Middel-Hoog
		Infrastructuur	sterk publiek
		Nieuw / bestaande spelers	Bestaand

Big Carbon Tech

Externe factoren	input markt	Energieprijzen EU	Hoog
		Grondstofprijzen / schaarste	nvt
	governance	Plastic ban, design en recyclingseisen	Middel
		Beprijzing CO2 in EU	Hoog
	technologische ontwikkeling		Revolutionair
	output markt	Vraag volume in EU	Stabilisatie
		Open markt EU-Wereld	Hoog
Transitiepad			Disruptief

Chemie	C-bron	Mechanische recycling	Middel
		Chemische recycling	Middel
		Biobased	Beperkt
		CCU/CCS(+virgin)	Zeer hoog CCU
	Sector	Basischemie (1e Energie intensieve stap)	Lager
		Clustering	Middel-laag
		Infrastructuur	niet/alleen privaat
		Nieuw / bestaande spelers	Nieuw

Bijlage 3 Huidige sector & ontwikkelingen

De huidige koolstofchemie

In dit hoofdstuk wordt de huidige Nederlandse koolstofchemiesector beschreven, met daarin een uiteenzetting voor welke producten zij de grondstoffen levert, en wat het aandeel van duurzame koolstofbronnen in de huidige productie is. Ook staan we stil bij huidige marktontwikkelingen, zoals overwogen en genomen FID's (final investment decisions) voor projecten die leiden tot de uitbreiding van de totale capaciteit van koolstofchemie n Nederland.

Productketens en clusters in Nederland

De chemische industrie in Nederland is nauw verweven met de fossiele industrie. Dit komt doordat veel chemische producten worden geproduceerd uit fossiele grondstoffen, zoals aardolie en aardgas. Deze grondstoffen dienen als basis voor de productie van verschillende chemische stoffen, zoals kunststoffen, kunstmest en medicijnen. De chemische industrie maakt gebruik van de fossiele industrie om aan deze grondstoffen te komen. Uit de aardolieraffinaderijen komen verschillende fracties van aardolie vrij. Een deel deze fracties wordt in krakers omgezet in andere moleculen die onder andere als basischemicaliën voor de chemische industrie dienen.

Nederland heeft een relatief grote chemische industrie en behoort daarmee tot de top van Europa. Als derde producent van chemische stoffen in de EU (gemeten naar verkopen)[23], speelt Nederland een belangrijke rol in de Europese chemische sector. Dit wordt mede mogelijk gemaakt door de strategische ligging van Nederland aan de Noordzee en de aanwezigheid van grote havens, zoals de haven van Rotterdam. Via deze havens kunnen belangrijke grondstoffen worden ingevoerd en vervoerd naar de verschillende chemieclusters in Nederland. Bovendien kunnen deze grondstoffen ook gemakkelijk naar andere Europese landen worden vervoerd[24,25]. Zie een voorbeeld van dit netwerk in Figuur B3.1.

[23] PBL, Decarbonisation options for the Dutch Polyolefins industry, 2020
[24] Chemische industrie - NLwerktaanwerk
[25] Deloitte - The Chemical Industry in the Netherlands-2751.pdf (consultancy.nl)

Figuur B3.1 Chemisch netwerk (Bron: Pipeline network | Port of Rotterdam)

In 2023 werd er 67 miljard euro omgezet in de chemische industrie, wat zich vertaalde naar 16 procent van de totale goederenexport van Nederland[26].
Nederland kent 5 grote geografisch geconcentreerde chemieclusters: Noord-Nederland, Noordzeekanaalgebied, Rotterdam-Moerdijk, Zeeland/West-Brabant, en Chemelot (Zuid-Limburg). Deze clusters huisvesten een groot aantal chemische bedrijven en vormen belangrijke economische pijlers voor Nederland. Daarnaast heeft Nederland ook een grote collectie niet geografisch geconcentreerde chemiebedrijven, ook genoemd het Zesde Cluster. Dit cluster bestaat uit de sectoren levensmiddelen, papier, glas, keramische industrie, afval- en recycling, ICT-bedrijven, metallurgische industrie en de olie- en gas exploratiebedrijven[27].

Europa en Nederland willen in 2050 klimaatneutraal zijn, maar ook circulair. Dit betekent dat de chemische industrie moet overstappen van het gebruik van fossiele grondstoffen naar duurzame alternatieven. Om deze transitie te maken, zet de chemie in op 3 routes: Gebruik van secundaire grondstoffen, biogrondstoffen en Carbon Capture and Utilisation (CCU). Met secundaire grondstoffen bedoelen we grondstoffen die geproduceerd worden uit afvalstromen. Ook mechanisch gerecyclede kunststoffen vallen hier onder, omdat dit zorgt voor een verlaging van benodigde nieuwe polymeren, maar deze vorm van recycling valt buiten de scope van het project. Met biogrondstoffen bedoelen we alle plantaardige of dierlijke materialen, of materialen van plantaardig of dierlijke herkomst. CCU is een techniek waarbij CO_2 wordt afgevangen en gebruikt als grondstof voor chemische processen. Hoewel de eerste 2 routes al redelijk in ontwikkeling zijn, staat CCU nog in de kinderschoenen.

In onderstaande alinea's worden enige kwantitatieve data over productie en bronnen (voor zover beschikbaar) uiteengezet.

[26] Chemie in Nederland - VNCI Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie

[27] Zesde Cluster - VNCI Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie

Productie van de chemische industrie en het aandeel fossiele bronnen

Er is momenteel een koolstofvraag van ongeveer 13,9 Mton in de vorm van nafta en 1,8 Mton in de vorm van aardgas als feedstock voor de chemische industrie in Nederland[28]. Van de nafta gaat naar schatting 9 Mton naar de productie van kunststoffen. Daarnaast wordt er voor de energiebehoefte van de industrie 135 PJ uit fossiele bronnen gehaald[29]. De afgelopen 10 jaar zijn de productievolumes in de chemische industrie redelijk stabiel gebleven, er was slechts een lichte stijging te zien. Echter, in 2023 is er een grote dip (13,1 % ten opzichte van 2022) te zien in de productie. Deze daling wordt veroorzaakt door de dalende verkoopprijzen[30]. We zien in 2024 dat de omzet weer gestegen is. 80 % van de chemische producten die in Nederland worden vervaardigd wordt geëxporteerd. 80 % hiervan blijft binnen Europa. De rest van deze producten wordt naar landen buiten Europa verscheept[30].

Op het moment is het grootste deel van de productie gebaseerd op fossiele bronnen. In de Brightsite transition outlook van 2023 wordt vermeld dat op dat moment 14 % van de feedstock uit duurzame bronnen kwam[9]. Dat betekent dat nog 86 % uit fossiele bronnen wordt gehaald.
Een van de auteurs van het rapport heeft in een interview aangegeven dat de informatie voor het Brightsite outlookreport is opgehaald uit contacten met de verschillende chemische clusters, de genoemde cijfers konden daarom door ons niet geverifieerd worden.

Aandeel biogebaseerde materialen in hele Nederlandse chemie

De productiegetallen en het deel van de productie dat afkomstig is van duurzame koolstof per tak van de chemische industrie zijn niet beschikbaar, daarom wordt in deze paragraaf een analyse gemaakt aan de hand van omzetcijfers van de verschillende sectoren binnen de Europese en vervolgens de Nederlandse chemische industrie.

Tussen 2008 en 2020 is de financiële omzet van biogebaseerde materialen ongeveer gelijk gebleven. Dit bedroeg tussen de 30 en de 45 miljard euro in de EU27. Het omzetpercentage biogebaseerde ten opzichte van fossiel schommelt tussen 2008 en 2020 volgens Cefic tussen 6 en de 8 %[31]. Het CBS komt in een eerste vingeroefening op basis van cijfers uit de materialenmonitor uit op iets minder dan 7 %, waarbij wordt aangetekend dat er waarschijnlijk dubbeltellingen in het gedeelte biogebaseerd zitten. Een poging om die dubbeltellingen uit de cijfers te halen leidt tot een biobased percentage van iets meer dan 5 %[32].
In Nederland zijn er verschillende partijen bezig met het opzetten van fabrieken voor biogebaseerde producten. Zo heeft Avantium recent een ‘flagship plant’ geopend, waar 5 kton FDCA (furandicarbxylic acid) wordt geproduceerd en omgezet in het biogebaseerde plastic PEF (polyethylene furanoate)[33]. Daarnaast is ook BioBTX bezig met de bouw van een fabriek waarin jaarlijks 20 kton aromatische basischemicaliën benzeen, tolueen, en xylene uit duurzame bronnen zullen worden geproduceerd[34]. Deze chemicaliën komen nu uit de bodemfractie van naftakrakers.

[28] Brightsite Transition Outlook 2023
[29] Brightsite Transition Outlook 2023
[30] Chemie in cijfers - VNCI Koninklijke Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie
[31] Connect Circular Economy - cefic.org
[32] Inventarisatie monitoring biogrondstoffen
[33] Avantium Celebrates the Official Opening of its FDCA Flagship Plant
[34] BioBTX secures over € 80 million to launch world's first renewable aromatics plant - BioBTX

Koolstof uit CO2

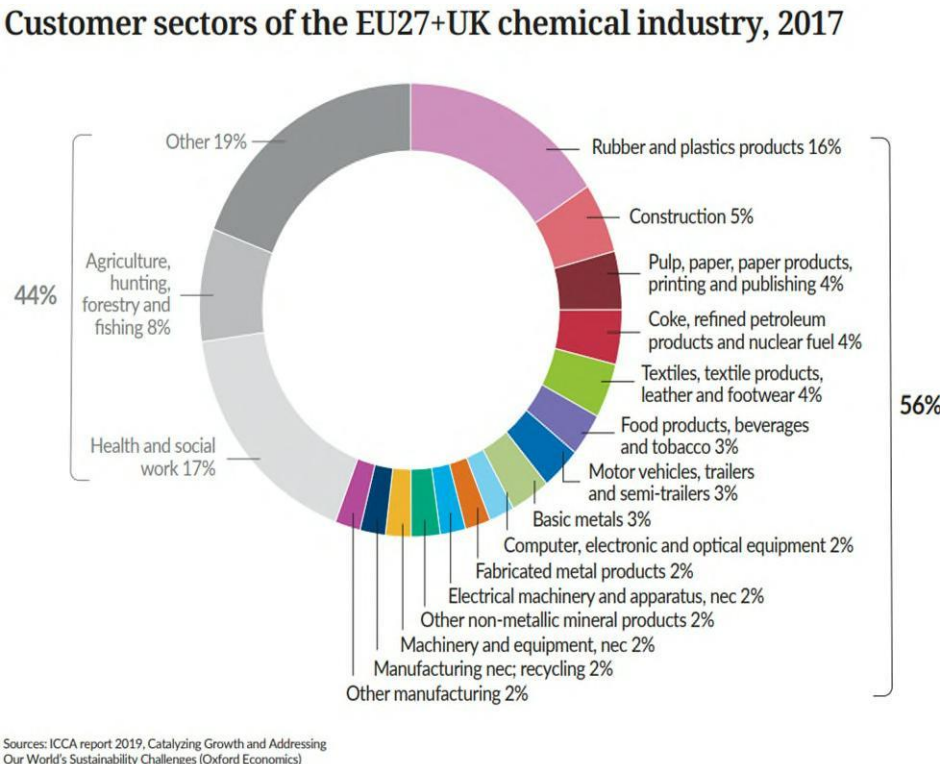
Het gebruik van CO_2 als grondstof staat nog in de kinderschoenen en er wordt alleen nog onderzoek naar gedaan[35]. Er is geen productie, het aandeel CCU is dan ook verwaarloosbaar klein.

Bijdrage productie chemische sector aan eindproducten

Er is geen recent overzicht waar de producten van de Nederlandse chemische industrie precies terechtkomen. Verschillende bronnen geven wel een inzicht in hoe de Nederlandse chemische industrie in elkaar zit. Hieronder geven we de informatie over de Nederlandse industrie op basis van verschillende bronnen.

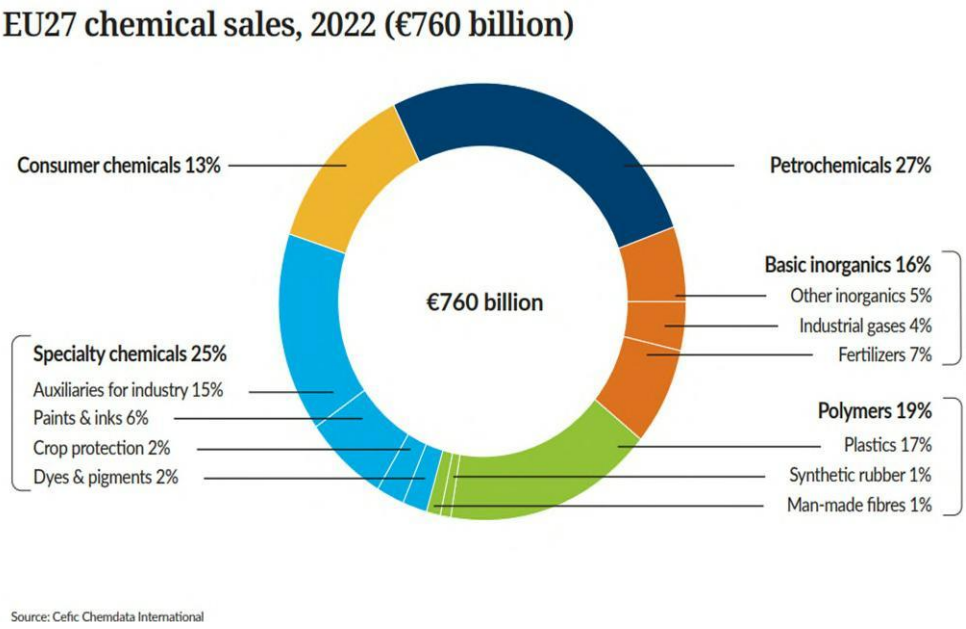
Cefic

Cefic is de Europese branchevereniging van de chemiebedrijven. Door Cefic is op het niveau van de EU voor 2017 een overzicht gemaakt van de klanten van de chemische industrie. Dit is weergegeven in onderstaande figuur. In vergelijking met de gehele EU heeft de Nederlandse industrie relatief veel basischemie (zie hierna). 56% van de producten van de chemie komen terecht in andere industriesectoren. 44% buiten de industrie. Het verduurzamen van de koolstofbron van de chemie zorgt dus voor een verduurzaming van een groot deel van de huidige industrie.



[35] CO_2 is geen afvalproduct maar een grondstof!

Cefic heeft wat data uit 2022 over de omvang van de verschillende takken van de Europese chemiesector. Dit is gebaseerd op omzet, niet op volumes. Omdat bij specialty chemicaliën vaak hogere marges worden gehaald per ton product (en dus per gebruikte ton koolstof) dan bij de bulkchemicaliën, zal dit niet 1-op-1 overeenkomen met de productiecijfers, maar het geeft wel een indicatie.



In Europa werd in 2022 een omzet van 760 miljard euro behaald in de chemische industrie. Van deze omzet ging 13 % naar consumentenchemicaliën (zoals wasmiddel en cosmetica), 25 % naar specialty chemicaliën, 19 % naar polymeren, 16 % naar anorganische stoffen en 17 % naar petrochemicaliën. In deze afbeelding verwijst petrochemicaliën naar de organische basischemicaliën uit fossiele bron. Voorbeelden van basis petrochemicaliën zijn ethyleen, propyleen, benzeen en toluene. Deze stoffen worden verder verwerkt tot veel verschillende eindproducten, zoals kunststoffen, synthetische vezels, rubber en chemicaliën voor de industrie. De deelsectoren produceren vooral organische (koolstof)moleculen. We zien dus dat met 84 % de koolstofchemie het grootste deel van de Europese chemiesector is, anorganische chemie (zonder koolstof) is veel kleiner qua omzet.
Binnen de 'specialty chemicaliën' was er een verdeling van 6 % voor verf en inkt, 2 % gewasbeschermingsmiddelen, 2 % voor verf en pigmenten en 15 % voor ondersteunende chemicaliën voor de industrie (denk aan katalysatoren, oplosmiddelen, stabilisatoren, reactiehulpmiddelen en additieven)[36].

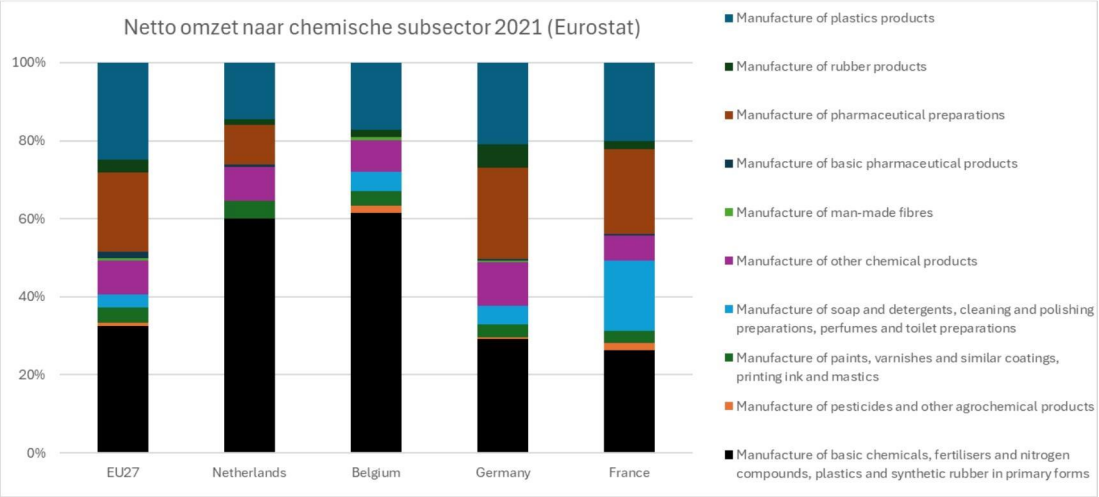
[36] 2023_Facts_and_Figures_The_Leaflet.pdf (cefic.org)

Topsector Chemie

Volgens de Topsector Chemie heeft de Nederlandse chemische industrie een omzet van circa 84 miljard euro per jaar. De omzet komt voor 75 % van de basischemie en voor 25 % uit specialty chemicaliën[37]. Volgens het CBS had de chemische industrie (exclusief farmaceutische chemie) in 2022 een omzet van ruim 73 miljard euro waarvan ongeveer 85% in de Basischemie werd omgezet. Basischemicaliën zijn de meer eenvoudige en veelvoorkomende chemische stoffen, die in grote hoeveelheden worden geproduceerd. Basischemicaliën zijn nodig voor de productie van andere chemische producten en specialty chemicaliën. Specialty chemicaliën zijn chemicaliën die specifiek worden geproduceerd voor een bepaalde toepassing, zoals lijmen, coatings, en additieven. Welk percentage van de Nederlandse chemische industrie specifiek koolstofchemie is, hebben we niet kunnen achterhalen.

Eurostat

Bij Eurostat is ook in beperkte mate informatie beschikbaar over de omzet in de verschillende deelsectoren van de chemie. Deze informatie is opgenomen in onderstaande figuur.



Figuur B3.2 Netto omzet in subsectoren chemie (de data is niet compleet, nationale statistische bureaus die aan Eurostat aanleveren, laten data weg voor categorieën als die herleidbaar is tot individuele bedrijven, bijvoorbeeld omdat er maar één of enkele bedrijven actief zijn. Voor Nederland betreft dit de categorieën manmade fibres en wasmiddelen & cosmetica)

Kunststofproductie in Nederland

Als we de Nederlandse markt vergelijken met de Europese chemische markt dan zien we dat er in Nederland een relatief grote capaciteit is voor kraken van nafta tot ethyleen[38] en dat een groot deel van de capaciteit wordt ingezet voor het produceren van kunststoffen[39]. De Nederlandse plasticindustrie produceert veel LDPE, HDPE, en PP. Zo is er in 2020 in Nederland ongeveer 2600 kton aan LDPE, HDPE en PP geproduceerd[40].

---

[37] Streefbeeld voor de Nederlandse Chemie sector in 2030, Topsector Chemie
[38] PowerPoint Presentation (plasticseurope.org)
[39] Mondelinge toelichting vanuit Brightsite
[40] Decarbonisation options for the Dutch polyolefins industry (pbl.nl)

Waar de producten van de krakers specifiek terechtkomen voor verwerking tot eindproducten is moeilijk te zeggen. Wel weten we uit de informatie van Brightsite dat een groot deel van de koolstofvraag in Nederland uit de kunststofsector komt. Het is dus aannemelijk dat de basischemicaliën die de krakers produceren (deels) bij de Nederlandse kunststofproducenten terecht komen.
Over deze sector wordt veel data bijgehouden door Plastics Europe, de branchevereniging wiens leden meer dan 90 % van alle kunststoffen in Europa produceren. Volgens Plastics Europe werd in 2022 88,8 % van de kunststoffen in Nederland geproduceerd uit fossiele bronnen.
De rest (11,2 %) van de feedstock voor de productie kwam van secundaire grondstoffen en biogebaseerde materialen. Het grootste deel (6,7 %) kwam uit mechanisch gerecyclede pre-consumer materialen. 4,4 % kwam van mechanische en chemische recycling van post-consumer kunststoffen. De resterende 0,1 % is afkomstig van biogebaseerde grondstoffen. In Nederland wordt jaarlijks tussen de 800 en 1.000 kton kunststofafval ingezameld[41]. Ter vergelijking, de productie in Nederland van plastic ligt rond de 6.000 kton. Hier wordt echter een groot deel van geëxporteerd.
In 2022 is in Nederland 417 kton plastic gerecycled. Dit is een combinatie van chemische recycling en mechanische recycling. Hierbij heeft mechanische recycling een veel groter aandeel dan chemische recycling, maar de precieze verhouding is niet bekend[42].
Er is een stijgende lijn te zijn in de hoeveelheid plastic afval dat wordt ingezameld en als feedstock kan dienen voor recycling. De totale hoeveelheid ingezameld plastic afval is tussen 2006 en 2022 met 30 % toegenomen van 851 naar 1.103 kton per jaar. Hierop volgend is ook een stijgende lijn te zien in de totale hoeveelheid gerecycled post-consumer kunststof. Deze nam tussen in 2006 en 2022 toe van 144 tot 417 kton per jaar[11].

Er is dus nog veel terrein te winnen om een groter deel van de Nederlandse plasticproductie uit recycling of biogebaseerde bronnen te halen in plaats van uit fossiele bronnen. Een groot deel van het ingezamelde kunststofafval wordt nog niet gerecycled, maar in plaats daarvan verbrand met energieterugwinning. Door betere scheiding van verschillende kunststoffracties kan meer plasticafval worden teruggewonnen, wat kan worden ingezet voor recycling. Hierdoor kan het percentage koolstof uit duurzame bronnen toenemen.

Vooruitzichten van grote Nederlandse krakers

In Nederland zijn 3 bedrijven actief die op grote schaal nafta kraken. Dit zijn Shell, DOW, en SABIC. Deze partijen zetten nafta om te zetten in koolwaterstoffen die door andere producenten kunnen worden verwerkt tot een groot aantal verschillende producten.

We hebben Shell, DOW en SABIC gesproken over hun lopende projecten en vooruitzichten op het gebied van duurzame koolstof. De informatie die we hebben gekregen staat hier beschreven.

[41] Onderwerp - NRK Recycling
[42] CircularEconomy_nationalinfographics_2024.pdf (plasticseurope.org)

Shell heeft plannen om in 2025 wereldwijd in totaal 1 Mton per jaar aan pyrolyse-olie te verwerken. Echter, door beperkte capaciteit en beschikbaarheid van grondstoffen lijkt dit doel niet haalbaar. Op dit moment heeft de pyrolyse-installatie in Moerdijk een verwerkingscapaciteit van 50 kton per jaar. Dit is slechts minder dan 1 % van de totale jaarlijkse kraakcapaciteit in Nederland. Er zijn plannen om uit te breiden, maar dit traject ligt momenteel stil[43]. Ook hier is de beschikbaarheid van plastic afval een beperkende factor. Daarnaast is de hoge prijs van de input zeer bepalend voor de prijs van de producten die wordt gemaakt. Die hoge prijs wordt niet door de markt geaccepteerd. De geproduceerde pyrolyse-olie wordt ingezet voor verschillende doeleinden.

Sabic is bezig met de ontwikkeling van grondstoffen uit recyclaat. Het bedrijf heeft in 2023 een pyrolyse-installatie in gebruik genomen met een jaarlijkse capaciteit van 15-20 kton. De demofabriek maakt zogenoemde Tac Oil. Dit wordt gebruikt voor de productie van nieuwe polymeren[44, 45].

DOW is bezig met proeven op het gebied van CCS/U (Carbon Capture and Storage/Utilisation), waarbij CO_2 wordt afgevangen en gebruikt als grondstof[46, 47]. Daarnaast wil DOW in Europa in 2030 1 Mton biogebaseerd dan wel secundair plastic op de markt zetten[48].

Er lopen op het moment bij de grote Nederlandse krakers dus verschillende projecten om duurzame koolstof te winnen uit plastics. De totale productiecapaciteit is echter nog bijna verwaarloosbaar in vergelijking met de koolstof die uit fossiele bronnen wordt gehaald. Er zijn plannen om de capaciteit de komende jaren uit te breiden, maar daarvoor moeten eerst meer grondstoffen beschikbaar komen. Daarnaast moet de business case worden verbeterd. Duurzame producten die uit de krakers komen zijn in de regel nog een aantal keer zo duur als de fossiele producten. Voor de kleine hoeveelheden die nu worden geproduceerd kunnen wel nichemarkten worden gevonden waar partijen bereid zijn om een premium te betalen. Wanneer voor de bulkmarkt moet worden geproduceerd is een premium tot 300 % niet haalbaar.

Dit zijn de plannen van grote krakers in Nederland op de korte termijn. Verwachte trends en ontwikkelingen op de middellange tot lange termijn worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

[43] Shell krabbelt terug van eigen recyclingambities - AfvalOnline
[44] Plasticrecyclingfabriek SABIC & Plastic Energy na de zomer operationeel (chemelot.nl)
[45] Sabic levert hydrotreater plastic recyclingfabriek Geleen op - Industrielings
[46] ArcelorMittal en Dow Benelux starten proeven met CO2- en CO-afscheiding uit staalgas - ArcelorMittal in België
[47] Decarbonisation options for Large Volume Organic Chemicals Production, DOW Terneuzen (pbl.nl)
[48] Uit interview DOW

Verwachte trends en ontwikkelingen

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke trends en ontwikkelingen in de chemische industrie worden voorzien door onderzoeksinstituten, overkoepelende- en brancheorganisaties en marktpartijen.

Er zijn in de literatuur meerdere toekomstbeelden te vinden waarin de Europese chemische industrie klimaatneutraal, circulair, en duurzaam is in 2050[49]. Hierbij heeft dan een verschuiving plaatsgevonden van fossiele grondstoffen naar duurzame en gerecyclede grondstoffen. Op korte termijn wordt biomassa uit suikerhoudende planten als veelbelovend gezien, op langere termijn CCU-technologieën die CO_2 omzetten in chemische grondstoffen[49]. De literatuur is eensgezind dat er wordt gestreefd naar een eindbeeld met een mix van (zowel mechanische als chemische) recycling, biomassa en CO_2-gebaseerde routes.

Het valt op dat de focus binnen de literatuur ligt op (duurzame) bronnen, toegepaste technieken, economische overwegingen en wet- en regelgeving. Locatie en ruimtelijke-, sociaal-maatschappelijke en milieu-impact komen veel minder naar voren. Bovendien betreffen de beschreven veranderingen vooral verschuivingen in feedstock en technologieën. Er wordt relatief weinig stilgestaan bij veranderingen buiten het huidige systeem, zoals volledig andere consumptiepatronen (en daarmee een vraag naar andere producten) of grote geopolitieke verschuivingen.

Het vervolg van dit hoofdstuk geeft inzicht in de transitiebeelden die de literatuur geeft, onderverdeeld naar verschillende onderwerpen, achtereenvolgens sociaal-maatschappelijke impact, technische ontwikkelingen, economische gevolgen, ecologische/ruimtelijke impact, tijd en beleid en wet- en regelgeving.

Sociaal-maatschappelijke impact

In de geraadpleegde literatuur wordt over sociaal-maatschappelijke ontwikkelingen met betrekking tot een transitie naar een duurzame koolstofchemie niet diep ingegaan. Enkele relevante ontwikkelingen die wel genoemd worden, zijn de voorlopig groeiende wereldpopulatie, niveaus waarop de transitie voltrekt en het maatschappelijke draagvlak voor nieuwe technologieën. Deze ontwikkelingen worden hieronder verder toegelicht.

Volgens prognoses voor de bevolking van de Europese Unie, ligt de piek rond 2026 en zal daarna de bevolking langzaam af gaan nemen[50]. Naar verwachting zal de (wereld)populatie echter tot voorbij 2050 blijven groeien en bovendien gemiddeld rijker worden[51].
Vanwege de bijkomende groei in welvaart en consumptie, is de huidige verwachting dat wereldwijd de vraag naar chemische producten zal blijven groeien.

[49] Zie onder andere publicaties van het Joint Research Centre (2019), the International Energy Agency (2019) en McKinsey (2024)
[50] Zie feiten en cijfers over de Europese Unie, op de site van de EU
[51] De laatste voorspelling van de VN (juli 2024) is dat de wereldbevolking zal pieken in het midden van de 2080'er jaren. Zie de publicatie op de site van de VN

Het precieze effect op de vraag naar Europese chemische producten is moeilijk te voorspellen, maar deze vraag zal waarschijnlijk niet significant lager worden[52]. Deze aanname wordt ondersteund door verschillende scenariostudies, die in Europa gemiddeld uitgaan van een zeer lichte stijging (0,4 %) van de vraag naar chemische producten in 2050[53].

De transitie naar een duurzame koolstofchemie heeft verstrekkende sociaal-maatschappelijke gevolgen. Deze transitie voltrekt zich op meerdere niveaus[54]: binnen de chemische sector zelf, op ketenniveau, en in de bredere maatschappelijke context. De chemische industrie levert grondstoffen voor tal van producten en is daarmee een belangrijke pijler onder onze moderne samenleving. Duurzame innovaties in deze sector werken daarom door in alle lagen van de maatschappij. Zo vragen nieuwe technologieën bijvoorbeeld nieuwe vaardigheden en kennis, waardoor werknemers omgeschoold zullen moeten worden. Daarbij is de vraag of werkgelegenheid *tijdens de transitie* behouden zal blijven. Verder blijkt uit interviews dat het personeelsbestand in de chemie ook aan het vergrijzen is waardoor het vinden van geschikt personeel lastiger wordt. Dit hangt af van het verloop - onder andere van de snelheid en de mate waarin het nieuwe het oude direct vervangt. Daarnaast moeten voor wijzigingen in processen bij de ene partij in de keten vaak ook wijzigingen worden doorgevoerd bij andere ketenspelers. Dit vraagt om goede samenwerking tussen de ketenpartijen en die samenwerking moet worden geprofessionaliseerd.

Het maatschappelijke draagvlak voor nieuwe technologieën en infrastructuur hangt af van verschillende zaken. Ten eerste van een al dan niet eerlijke verdeling van kosten en baten van de transitie. Ten tweede ook van (de perceptie op) veiligheid en duurzaamheid van chemische producten. Volgens geïnterviewde stakeholders hebben mensen bijvoorbeeld meer vertrouwen in biogebaseerde producten dan in gerecyclede producten, en zijn voor die eerste bereid meer te betalen en voor de tweede juist minder. Een derde factor waar maatschappelijk draagvlak van afhangt is de angst voor risico's. Dit heeft ook invloed op het maatschappelijke draagvlak. Als risico's worden geformaliseerd (bijvoorbeeld in regelgeving ingebed via REACH[55]) kan dat de maatschappelijke acceptatie ten goede komen, maar tegelijkertijd innovatie remmen.

Technologisch

Op het gebied van technologische ontwikkelingen gaat de meeste aandacht uit naar de feedstock die door technologieën gebruikt worden en daar ook naar onderverdeeld worden. Naast deze technologieën worden ook enkele verduurzamende technologische ontwikkelingen beschreven in deze paragraaf.

In de geraadpleegde literatuur komen 4 belangrijke technologieën naar voren voor een duurzame koolstofchemie in de toekomst: mechanische en chemische recycling, biogebaseerde productie en Carbon Capture and Utilisation (CCU). .

[52] Stakeholders gaven in interviews ervan uit te gaan dat ze geen lagere vraag naar chemische producten verwachten richting 2050
[53] Zie het recente onderzoek door het Renewable Carbon Initiative (RCI), waarin 24 scenario's uit 15 studies vergeleken zijn
[54] Zie TNO – Transitie naar een duurzame chemie: een startnotitie
[55] REACH staat voor 'Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen' en verwijst naar de gelijknamige Europese verordening over de productie van en handel in chemische stoffen. Zie rijksoverheid.nl voor meer informatie

In de onderstaande kaders worden deze technologieën toegelicht. De technologieën zijn, in grote lijnen, hieronder vermeld in volgorde van de minste energie naar de meeste hoeveelheid energie die nodig is om een product te maken. Hoe minder een molecuul hoeft te worden afgebroken en weer moet worden opgebouwd, hoe minder energie er nodig is.

Mechanische recycling. Bij deze vorm van recycling wordt afval verwerkt tot secundaire grondstoffen zonder de chemische structuur van het materiaal te veranderen. Dit proces omvat het versnipperen, wassen, en sorteren van relatief schone en goed gesorteerde plasticstromen, waarna het kunststof kan worden omgesmolten om te worden hergebruikt in kunststof producten. Ondanks dat mechanische recycling geen onderdeel is van de chemische sector, en daarmee ook geen onderdeel van de scope van deze studie, vervangt het een deel van de vraag naar chemische producten en daarmee is het een belangrijk onderdeel van de route naar een duurzame koolstofchemie. Solvolyse is een technologie waarbij kunststof wordt opgelost, waarna er een scheiding wordt gemaakt tussen de polymeren en de verontreinigingen. Omdat er geen bindingen in de polymeren worden gebroken kan er formeel niet gesproken worden van chemische recycling, dus scharen we deze onder mechanische recycling.

Chemische recycling. Bij deze tegenhanger van mechanische recycling wordt kunststofafval omgevormd door de chemische samenstelling terug te brengen naar de oorspronkelijke bouwstenen van het materiaal. Zo kan het opnieuw dienen als grondstof voor de vervaardiging van plastic of andere producten. Er zijn diverse technologieën beschikbaar voor chemische recycling, waaronder pyrolyse, vergassing, hydrokraken en depolymerisatie. Deze technologieën verschillen in voorwaarden aan feedstocks zoals soorten polymeren die geschikt zijn en gevoeligheid voor vervuiling.

Biogebaseerde productie. Dit betreft productie van chemische producten uit gewassen, algen en reststromen uit de landbouw, bosbouw en voedingsmiddelenindustrie[56]. Door bijvoorbeeld suikers of gassen uit deze bronnen via bioraffinage om te zetten in chemische (basis)producten, kunnen biologische grondstoffen gebruik worden in plaats van fossiele. De omzetting van biologische grondstoffen in de gewenste chemicaliën kan zowel klassiek chemisch (temperatuur, druk, katalysator) als via meer biologische processen (vergisten, enzymatische afbraak).

Carbon Capture and Utilisation (CCU). CCU, soms aangeduid als CO_2-to-X, verwijst naar technologieën die koolstofdioxide (CO_2) na afvang omzetten in chemische producten, in plaats van het uit te stoten in de atmosfeer. Door bijvoorbeeld CO_2 te laten reageren met CO (koolstofmonoxide) en H_2 (waterstof) wordt syngas geproduceerd, wat omgezet kan worden in methanol, ethanol of ethyleen, belangrijke basischemicaliën in de chemische sector. De energie voor het bewerken van de CO_2 moet van duurzame oorsprong zijn, anders is er geen sprake van duurzame grondstof.

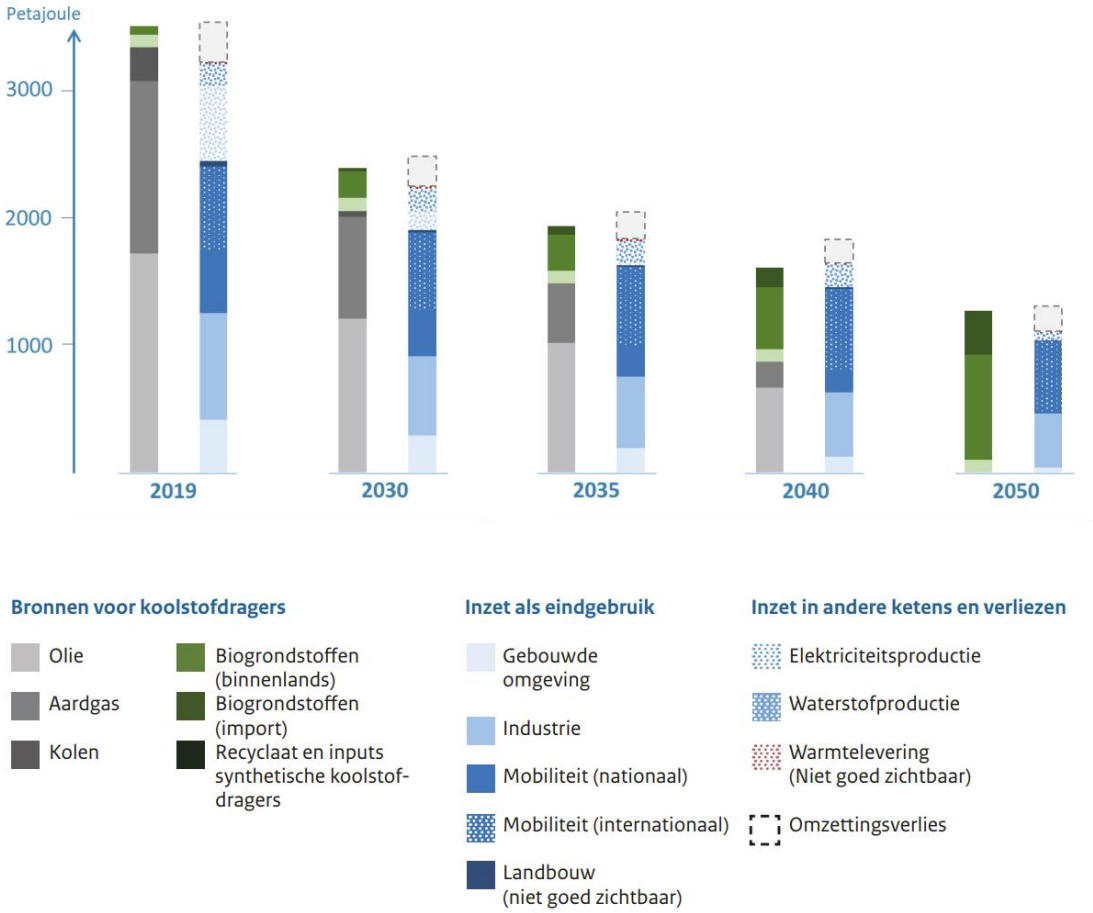
Deze technologieën maken gebruik van duurzame bronnen en passen daarom in een duurzame koolstofchemie met minimalisatie van fossiele grondstoffen.

[56] Biogebaseerde bronnen zijn niet per definitie duurzaam. Als bijvoorbeeld stukken oerwoud gekapt worden om plaats te maken voor plantages of als de verbouw van gewassen voor bepaalde toepassingen concurreert met de productie van gewassen voor voedsel, wordt het niet gezien als duurzaam

Voor beide vormen van recycling is (kunststof)afval de koolstofhoudende grondstof, voor biogebaseerd is dat biomassa en CCU zet CO_2 om in grondstoffen voor de chemie. Mechanische recycling is op dit moment de breedst toegepaste en technologisch de verst ontwikkelde technologie, gevolgd door biogebaseerde productie. In chemische recycling, verzamelnaam voor processen zoals pyrolyse, vergassing en depolymerisatie die polymeren moleculair terugbrengen naar monomeren, wordt op dit moment veel productiecapaciteit gepland, hoewel de daadwerkelijke realisatie en opschaling nog traag verloopt[57]. Naar het omzetten van CO_2 naar grondstoffen (CCU) wordt onderzoek gedaan, maar er is voor zover bekend nog geen productiecapaciteit gepland. Verschillende partijen hebben in interviews aangegeven dat ervan uit (energie) efficiëntie-oogpunt duidelijke voorkeur bestaat voor recycling boven biogebaseerde bronnen en dat CCU op dit moment onderaan de lijst zou moeten komen van duurzame koolstofbronnen.

Figuur B3.3 toont de verwachte ontwikkeling van bronnen voor koolstofdragers in het NPE, uitgedrukt in Petajoule. De scope van deze figuur is groter dan koolstofchemie, omdat hierin koolstofdragers als brandstof meegenomen zijn. Desalniettemin toont het de ontwikkeling en verschuiving van fossiele koolstofdragers naar biogrondstoffen en recyclaat. Daarnaast geeft de figuur de inzet als eindgebruik aan, waaruit de hoge inzet van koolstofdragers in industrie naar voren komt. In 2050 zal volgens de verwachting van het NPE het grootste deel van koolstofdragers komen uit biogrondstoffen en zullen fossiele koolstofdragers niet meer in gebruik zijn.

[57] Zie de Rapportage doelbereik chemische recycling (2022) door Rebel



Figuur B3.3 Verwachting bronnen voor koolstofdragers volgens het Nationaal Plan Energiesysteem [40]

Plastics Europe, de Europese branchevereniging voor plastic producenten, heeft ook de verwachte capaciteitsontwikkeling van de verschillende technologieën tot 2050 in kaart gebracht[58]. Zij stellen nog sterker dan het NPE dat verschillende technologieën naast elkaar zullen worden ingezet voor de productie van kunststoffen. Echter stelt Plastics Europe ook dat fossiele grondstoffen nog een belangrijke rol zullen spelen als feedstock in 2050. Met andere woorden: zij stellen dat fossielvrij in 2050 niet gehaald gaat worden. Naast de genoemde technologieën worden disruptives genoemd als eventuele nu nog onbekende innovaties. Disruptives zijn technologische doorbraken die de omzetting van een afvalstof, biogrondstof of CO_2 naar een gewenst molecuul op een andere, snellere of goedkopere manier kunnen dan in de huidige keten.

[58] Zie The Plastics Transition, een roadmap door Plastics Europe

Naast technologieën met andere koolstofbronnen en (tussen)producten zijn er meer strategieën en innovaties die bij moeten dragen aan een duurzamere koolstofchemiesector. Zo is op dit moment veel gericht op substitutie van bronnen, maar werd in interviews aangegeven dat er ook aandacht zou moeten zijn voor hogere strategieën op de R-ladder om te voorkomen dat deze substitutie in zijn geheel nodig is. Genoemde voorbeelden van innovaties die ook bijdragen aan een duurzamere sector zijn elektrificatie van processen[59], gebruik van groene waterstof en de ontwikkeling van nieuwe katalysatoren en scheidingstechnologieën[60]. Technologieën zoals protonuitwisseling membraantechnologie (PEM) en alkaline-elektrolyse worden verder ontwikkeld en opgeschaald[61].

Economisch

De transitie naar een duurzame chemische sector wordt gedreven door verschillende economische factoren. Een cruciale factor is de toenemende vraag naar duurzame producten en processen, gedreven door zowel consumentenvoorkeuren als regelgeving[62]. Dit creëert nieuwe marktkansen voor bedrijven die vooroplopen in duurzaamheid.

Er zijn nog aanzienlijke investeringen nodig zijn om de capaciteit voor duurzame chemie en bijbehorende infrastructuur op te schalen[63]. Overheidssteun, in de vorm van subsidies en gunstige regelgeving speelt een belangrijke rol bij het stimuleren van deze investeringen[64].
Volgens Groene Chemie, Nieuwe Economie - belangenbehartiger vanuit de chemische industrie - zijn deze investeringen gerechtvaardigd, omdat de overgang naar een duurzame koolstofchemie kansen biedt voor nieuwe werkgelegenheid en economische groei. Het opschalen van innovaties in circulaire grondstoffen en disruptieve elektrische processen kan leiden tot een aanzienlijke CO_2-emissiereductie en heeft een positieve invloed op de werkgelegenheid[64]. Bovendien ontstaan er nieuwe samenwerkingsverbanden tussen chemiebedrijven, agrarische bedrijven, afvalverwerkers en innovatieve mkb-bedrijven[64]. In hoeverre investeringen inderdaad leiden tot brede maatschappelijke economische voordelen, is echter onzeker en zal verder onderzocht moeten worden.

Kosteneffectiviteit blijft een uitdaging voor het gebruik van duurzame grondstoffen, aangezien deze alternatieven op het moment vaak duurder zijn dan conventionele opties[65]. Dit is deels simpelweg toe te schrijven aan de lage prijzen voor fossiele grondstoffen. Op de markt voor circulaire kunststoffen, bijvoorbeeld bij biogebaseerde en mechanische recycling, zorgt dit voor een afwachtende houding bij investeerders[66]. Investeerders houden vaak een return on investmentperiode aan van 5 jaar tot maximaal 15 jaar[67].

---

[59] Buiten de scope van dit onderzoek
[60] Benoemd door verschillende bronnen, bijvoorbeeld de Transition Pathway for the Chemical Industry (2023) door de EC of McKinsey (2024)
[61] Zie Alternative Naphta (2024) door het NOVA Institute
[62] Zie Positioning for success in the chemical markets of the future (2024) door McKinsey
[63] Beschreven door de VNCI (zie hun website over de Materialentransitie) en de Europese Commissie in Transition Pathway for the Chemical Industry (2023)
[64] De Actieagenda Groene Chemie, Nieuwe Economie (2021) beschrijft verschillende acties op het gebied van subsidies en gunstige regelgeving die volgens GCNE nodig zijn
[65] Zie de Future of the chemicals value chain in Europe (2020) door Deloitte
[66] Zie een artikel over Biobased chemie (2019) door Wageningen Climate Solutions
[67] Genoemd tijdens de interviews

Zelfs met een sluitende business case kan concurrentie door bijvoorbeeld vraag naar duurzame brandstoffen ervoor zorgen dat duurzame koolstof niet bij de chemie terecht komt.

Schaalvergroting en technologische vooruitgang zijn nodig om de kosten van duurzame grondstoffen te verlagen, investeringszekerheid te vergroten, en concurrerend te blijven op de wereldmarkt. Daarnaast zal er een markt gecreëerd moeten worden. Zie hiervoor de paragraaf over wetgeving en beleid.

In de huidige op fossiele grondstoffen gebaseerde chemische industrie spelen energieprijzen een grote rol. Het verlies van toegang tot goedkoop Gronings en Russisch gas, en in mindere mate sluiten van kolencentrales heeft de prijs hier opgedreven, terwijl bijvoorbeeld fracking-revolutie in Amerika daar juist de prijs heeft doen dalen. Ook voor duurzame energie zal Europa naar verwachting voor een grote uitdaging staan om competitief te zijn: de ruimte voor wind- en zonne-energie is beperkt en duur, in een nucleair alternatief zijn de bouwkosten van kerncentrales waarschijnlijk hoger dan op andere continenten en een importroute vergt forse transportkosten, ongeacht de modaliteit.

Ecologisch ruimtelijk

De transitie naar een duurzame koolstofchemie heeft aanzienlijke implicaties voor ecologie en ruimtegebruik. Een belangrijke factor is de verschuiving naar biobased grondstoffen, wat kan leiden tot een verhoogde vraag naar landbouwgrond[68]. Dit roept vragen op over potentiële concurrentie met voedselproductie en de impact op biodiversiteit, en versterkt de behoefte aan duurzame biomassaproductie.

De ontwikkeling van circulaire productieprocessen vraagt om nieuwe infrastructuur voor productie, afvalinzameling, sortering en recycling, wat invloed heeft op ruimtelijke ordening in industriële gebieden[69]. Tegelijkertijd kan de overgang naar duurzame energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie, leiden tot veranderingen in landgebruik.

De implementatie van Carbon Capture and Utilisation (CCU) technologieën kan de ecologische voetafdruk van de chemische industrie verminderen door verlaagde of helemaal weggenomen uitstoot van CO_2, maar vereist ook energie en ruimte voor nieuwe installaties[70]. Bovendien kan de ontwikkeling van groene waterstofproductie leiden tot de behoefte aan nieuwe pijpleidingen en opslagfaciliteiten.

Deze transitie biedt echter ook kansen voor ecologisch herstel, bijvoorbeeld door het verminderen van vervuiling en het creëren van nieuwe, duurzame ecosystemen rond industriële clusters[69].

[68] Beschreven door het Europese Parlement in Sustainable carbon cycles (2022)
[69] Zie Transition Pathway for the Chemical Industry (2023) door de Europese Commissie
[70] Zie het artikel Decarbonizing the chemical industry (2023) door McKinsey

Tijd

Uit interviews en gesprekken met stakeholders blijkt dat de factor tijd van groot belang is. Bestaande chemische infrastructuur wordt eens in de 5 tot 7 jaar grondig gerenoveerd, en dat is ook het moment waarop verbeteringen kunnen worden doorgevoerd.
Wanneer net groot onderhoud is uitgevoerd duurt het dus rond de 6 jaar voordat er weer een kans is om grootschalige verbeteringen door te voeren. Tot aan 2050 zijn er dus nog 3 à 4 mogelijkheden om dit soort verbeteringen door te voeren.

Het bouwen van een nieuwe, wat complexere en grotere fabriek kost in de regel minimaal 5 jaar vanaf het moment van de eerste locatie en milieu-impactsonderzoeken totdat de fabriek is gerealiseerd. Daarna kan het zomaar nog een jaar tot 2 jaar aan tijd kosten om kinderziektes uit een proces te halen zodat de nieuwe fabriek met deels nieuwe technologie ook draait zoals bedoeld was. Ook dit betekent dat een nieuw uitontwikkelde technologie pas voor het eerst in 2030 en waarschijnlijk later zal draaien als nu gestart wordt.

De aanlooptijd voor het ontwikkelen van een nieuw proces zijn nog veel langer. Vanaf het eerste idee tot aan een fabriek op productieschaal (enkele 10-tallen kilotonnen) kan zomaar 20 jaar duren. Als voorbeeld geven we Avantium, dat is 2000 is opgericht als spin-off van Shell, met een focus op onderzoek van katalysatoren. In 2006 is een proof-of-principle bereikt voor een techniek waarmee uit biogrondstoffen een biogebaseerd monomeer (FDCA) kan worden geproduceerd. Dit monomeer kan reageren tot een biogebaseerd kunststof (PEF). In oktober 2024, 24 jaar na oprichting en 18 jaar na de proof-of-principle van de techniek, is de flagship plant van Avantium geopend in Delfzijl. Hier kan jaarlijks 5 kton FDCA worden geproduceerd[71]. Voordat de fabrieken zo grootschalig gebouwd en uitgerold worden dat een significant deel van de markt wordt voorzien van grondstoffen of producten uit die fabrieken zal er weer 5 tot 10 jaar voorbij zijn. Een technologie die op dit moment nog niet op (bijna) fabrieksschaal is uitontwikkeld zal dus naar verwachting voor 2050 geen grote rol spelen in de transitie tot aan 2050.

Beleid en wet- en regelgeving

Op het gebied van beleid en wet- en regelgeving spelen een groot aantal ontwikkelingen, zowel op Europees als op nationaal niveau, die de chemische sector - en aanverwante sectoren zoals de plasticmarkt - beïnvloeden. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste.

Een volledig overzicht van de relevante huidige en verwachte wet- en regelgeving reikt vanwege de complexiteit te ver voor deze studie, maar hierbij wordt een kort overzicht[72] gegeven van de belangrijkste onderdelen uit de Europese context. Vanuit de EU wordt veel wet- en regelgeving ontwikkeld dat voortkomt uit de '**European Green Deal**' (ambitie om in 2050 klimaatneutraal te zijn) en tussendoelen uit 'Fit for 55' (doelstelling van de EU om in 2030 de netto-uitstoot met ten minste 55 % omlaag te hebben gebracht).

[71] History - Avantium Corporate
[72] Hierbij is gebruik gemaakt van het overzicht dat CircuLaw heeft ontwikkeld voor lokale overheden die vaak niet op de hoogte zijn van de verplichtingen die voortvloeien uit Europese wet- en regelgeving.

Belangrijke onderdelen met betrekking tot een duurzame koolstofchemie zijn:

- **EU Taxonomy**, waarin vastgelegd staat onder welke voorwaarden activiteiten of producten als duurzaam aangeduid mogen worden. De EU Taxonomy is vastgesteld en aangenomen in 2020
- **Waste Framework Directive** (WFD), waarin regelgeving met betrekking tot afval (en daarmee recycling) beschreven staat. Op dit moment wordt de WFD herzien
- **Corporate Sustainability Reporting Directive** (CSRD), waarmee de EU transparantie probeert te creëren over de verduurzaming van waardeketens. Hierdoor worden chemisch-industriële partijen verplicht te rapporteren over hun eigen verduurzaming, maar ook aan ketenpartners omdat deze zelf ook moeten rapporteren. De CSRD is aangenomen in 2022 en vanaf 2024 in werking[73]

Verschillende andere onderdelen uit de Europese wet- en regelgeving hebben direct of indirect invloed op het gebruik van duurzame koolstofbronnen. Dit werkt bijvoorbeeld via wetgeving gericht op uitstoot zoals het Emission Trade System (ETS), of regels gericht op specifieke producten of sectoren, zoals de Construction Products Regulation (CPR), Single-Use Plastics Directive (SUP) en de Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR).

Nederlands beleid sluit vaak aan bij Europese regels en stelt in een aantal gevallen ambitieuzere doelen. Een voorbeeld is de in ontwikkeling zijnde circulaire plastic norm[74], waarmee bedrijven die polymeren verwerken tot deel- of eindproducten verplicht zullen worden tot de toepassing van 25 % - 30 % recyclaat of biogebaseerde plastics. Met deze beleidsmaatregel loopt Nederland voor op Europees beleid, waar een dergelijke norm voorlopig pas in 2030 wordt voorzien.

Volgens verschillende partijen in de sector vereist de transitie naar een duurzame koolstofchemie een ondersteunend beleidskader en aangepaste wet- en regelgeving. In de Actieagenda Groene Chemie, Nieuwe Economie wordt door industriële partijen een aantal acties opgesteld om tot het gebruik van duurzame grondstoffen te komen. De industrie stelt daarin dat het werken aan een paradigmaverschuiving in wet- en regelgeving om innovatieve, duurzame oplossingen te faciliteren een cruciale actie is[64]. Over het algemeen dienen de vereiste acties het wegnemen van belemmeringen voor het gebruik van circulaire grondstoffen en het stimuleren van duurzame technologieën.

Om ketens duurzaam en circulair te krijgen, is er volgens de industrie behoefte aan een geïntegreerd beleid dat de hele waardeketen omvat, van grondstoffen tot eindproducten. Onderdeel van het bereiken daarvan is het ontwikkelen van cross-sectorale systeemroadmaps voor de grondstoffentransitie in de chemische industrie[64]. Concrete acties op korte termijn omvat het wegnemen van belemmeringen in de nationale context en wetgeving, zoals problematiek rondom einde-afvalstatus[75]. Hierbij is een stabiel beleid van belang, en wetgeving zal waar mogelijk sneller moeten worden geïmplementeerd omdat dit als heel traag wordt ervaren.

[73] Begin 2025 is uitgelekt dat er een voorstel is om de CSRD rapportage te versoepelen.
[74] Zie de site van de Nederlandse overheid over de Nationale Circulaire Plastics Norm
[75] Zie hierover bijvoorbeeld de beschreven oplossingsrichtingen door Rebel in Naar oplossingen voor de problematiek rondom einde-afvalstatus (2023)

Financiële stimulansen spelen een belangrijke rol. Zo beschrijft het Europees Parlement dat subsidies, belastingvoordelen en investeringsfondsen nodig zijn om de ontwikkeling en opschaling van groene technologieën te ondersteunen[69]. Indirect kunnen beprijzingen zoals de CO_2-beprijzing via het ETS hier ook een rol spelen. Daarnaast is er behoefte aan regelgeving die de markt voor duurzame producten stimuleert, zoals verplichte percentages gerecyclede inhoud in producten[68]. Ten slotte is het in de huidige Europese vrije markt essentieel om wet- en regelgeving te harmoniseren (op Europees niveau) om een gelijk speelveld te creëren en grensoverschrijdende samenwerking te faciliteren[69].

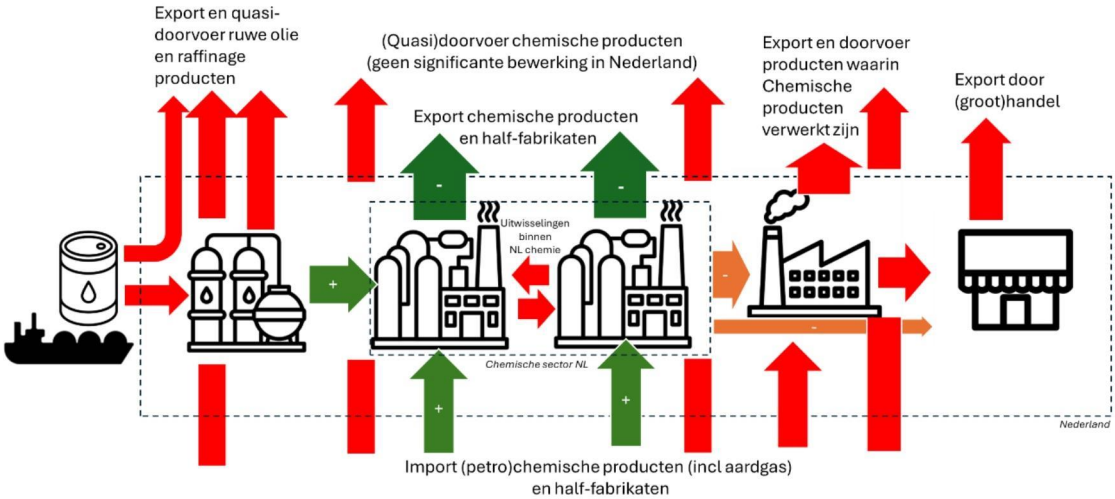
Bijlage 4 Toelichting kwantitatief model

In deze appendix worden de input, aannames en werking van het kwantitatieve model, dat is gebruikt om de scenario's door te rekenen, toegelicht. Eerst worden de input basisgegevens van de huidige koolstofstromen beschreven, gevolgd door de interne werking van het model en output.

A4.1 Input basisgegevens huidige koolstofstromen

Onderstaande figuur geeft schematisch de koolstofstromen van de Nederlandse chemie aan. Horizontaal van links naar rechts zien we de sterk versimpelde organische chemische keten. In het midden staat de Nederlandse chemische industrie. De lichte groene pijlen laten de toevoer van petrochemische producten, zoals nafta, en chemische halffabricaten, zien vanuit Nederlandse raffinage en import. Dit zijn de stromen waarvoor een duurzame koolstofbron nodig is. Vanwege de beschikbaarheid van data berekenen we die stromen echter door te kijken naar de uitgaande koolstofstromen vanuit een massa-balans benadering. Helaas is deze data op het gewenste detailniveau alleen bekend voor export, we verwaarlozen dus de productie voor binnenlandse gebruik (eindgebruik of verwerking in niet-chemische industrie). Dit heeft wel het voordeel dat dubbeltellingen in productie van dezelfde koolstof voorkomen worden (elke koolstofatoom kan het land maar 1 keer verlaten).

De chemische halffabricaten die in Nederland worden bewerkt tot een chemisch product dat daarna geëxporteerd wordt zijn wel meegenomen. Dit is een grove aanname die te rechtvaardigen is omdat we op zoek zijn ordegrote schattingen en de chemische industrie sterk op export gericht is.



Figuur B4.1 Schematische weergave koolstofstromen en afbakening. Rode stromen worden buiten beschouwing gelaten als methodologisch keuze, oranje stromen vanwege ontbreken data. Groene stromen vormen de massabalans, waarbij we evenwicht aannemen en de donkergroene stromen als uitgangspunt voor de berekening nemen.

Verder afbakeningen

- We beschouwen raffinageproducten, incl. katalytisch en hydro-kraken binnen het raffinage proces, niet als producten van de chemische industrie. Er kunnen wel raffinageproducten (bijvoorbeeld xylenen-fractie) als oplosmiddel voor andere chemische producten zitten binnen de afbakening
- We beschouwen de vervaardiging van plastic producten niet als onderdeel van de chemische industrie. We rekenen de productie van kunststofpoeder, pellets en vezels wel tot de chemische industrie, maar producten die hieruit vervaardigd worden (bijvoorbeeld spuitgegoten vormen of garen/stoffen) niet als producten van de chemische industrie
- We laten brandstof en voedsel (bijvoorbeeld zetmeel) buiten beschouwing. We nemen chemische toevoegingen voor voedsel wel mee
- We kijken alleen naar organische chemie, dat wil zeggen koolwaterstoffen, incl. mengsels van koolwaterstoffen en andere stoffen (bijvoorbeeld verf in wateroplossing)
- We kijken voor export alleen naar de ‘eigen productie’, dat wil zeggen producten die een significante bewerking in Nederland hebben ondergaan, wat niet uitsluit dat in sommige gevallen het grootste deel van de waardeketen zich in het buitenland bevindt. (Quasi)doorvoer wordt buiten beschouwing gelaten
- We kijken naar de koolstofstromen, uitgedrukt in massa koolstof. Meestal doen we dit door de totale exportmassa terug te rekenen naar koolstof (zie hierna)
- We laten uitval van koolstof (bijvoorbeeld cokesvorming) buiten beschouwing.
- We kijken niet naar gebruik van brandstoffen voor proces-energie in het chemische productieproces
- We kijken niet naar stromen binnen de Nederlandse chemische industrie (bijvoorbeeld ethyleen wordt polyethyleen), maar alleen naar de stromen die Nederland verlaten, dit vanwege databeschikbaarheid, maar ook om dubbeltelling van dezelfde koolstof te voorkomen.

Databron

We gebruiken de COMTRADE database van de VN als ruwe databron voor het jaar 2023, indeling op basis HS-codes, en als ‘reporter’ Nederland (dus de uitvoer die Nederland rapporteert, niet de invoer uit Nederland die andere landen rapporteren). Deze database bevat op detailniveau informatie over de economische waarde en massa van uitgevoerde chemische producten.
Deze database kent ook een aantal beperkingen. De database is gebaseerd op douane-data, voor douane-doeleinden. Dit betekent dat in sommige gevallen de massa is geschat op basis van de waarde van een product en/of de bruto massa (bijvoorbeeld inclusief container). Dit is bijvoorbeeld zichtbaar omdat veel medicamenten eenzelfde of zeer vergelijkbare prijs per massa-eenheid hebben, terwijl hier meer variatie verwacht wordt. Ook is voor douane de toepassing minder van belang, en is bijvoorbeeld geen goed onderscheid te maken tussen ethanol voor bijmenging in benzine en als chemische bouwsteen of oplosmiddel. Een ander bekend probleem van de COMTRADE database is dat de wereld als geheel een aanzienlijk handelsoverschot heeft, wat uiteraard niet mogelijk is. Wij denken desalniettemin dat voor een ordegrootte schatting deze data bruikbaar is.

Aanvullende databronnen

We maken verder gebruik van:

- Berekening (of schatting) koolstofgehalte: eigen berekening, op basis van molaire massa's, waarbij voor groepen van stoffen gewerkt is met referentie-moleculen (1 molecuul dat min of meer representatief is voor de groep stoffen). Bij mengsels is uitgegaan van de dominante stof (veelal het oplosmiddel), of schattingen van mengverhoudingen gemaakt. Voor wateroplossingen is een zeer ruwe schatting van percentage organische stoffen in de oplossing gebruikt. De berekening is gemaakt voor producten die samen meer dan 80 % van de Nederlandse exportmassa betreffen, de overige producten zijn een gemiddelde van die 80 % die wel berekend is toegekend
- De CBS data over aandeel eigen productie in export[76]. Deze data is alleen op hoog niveau beschikbaar (CBS eigen indeling gebaseerd op NST2007). Hier is dus wederom een versimpeling/aanname gemaakt dat er geen verschillen in aandeel eigen productie binnen deze groepen is
- De VN-transponeringstabellen[77] om de COMTRADE database in HS-codes in NST2007 categorieën te vertalen. Dit om een eerste afbakening chemische producten te maken vanuit de volgende selectie (waarna in een volgende afbakeningsstap voor iedere HS-code gekeken is naar de projectafbakening):
    - 073 Gaseous, liquefied or compressed petroleum products
    - 008 Chemicals, chemical products, and man-made fibers; rubber and plastic products; nuclear fuel
    - 082 Basic organic chemical products
    - 084 Basic plastics and synthetic rubber in primary forms
    - 085 Pharmaceuticals and parachemicals including pesticides and other agro-chemical products
    - 086 Rubber or plastic products

Berekening

De volgende berekening is gemaakt:

- De ruwe data (COMTRADE database uitvoer voor 2023 de door Nederlandse gerapporteerde uitvoer op HS6-niveau) is gefilterd op die producten die binnen de afbakening vallen (de hiervoor genoemde NST2007 groepen, waar een verdere handmatige selectie in is gemaakt)
- Deze data is gekoppeld aan de eigen gemaakte tabel over koolstofinhoud. De COMTRADE (schatting van) exportmassa is vermenigvuldigd met de koolstofpercentages. De som van deze exportkoolstofmassa's is de totale jaarlijkse koolstofstroom door de Nederlandse chemische industrie
- Ook is de som van de economische waarde van de binnen de afbakening vallende producten berekend

[76] Statline tabel **Internationale handel en doorvoer; waarde, gewicht, goederen, vervoerwijze**

[77] https://unstats.un.org/unsd/classifications/Econ

Indeling in deelsectoren

Indeling in deelsectoren is gebeurd op basis van PRODCOM-indeling, waarbij productgroepen gekoppeld worden aan sectoren. De PRODCOM-indeling is hiermee gekoppeld aan de in Nederland veel gebruikte SBI-sectorenindeling. Ook bij PRODCOM is de basis echter het type product, niet de sector. Het kan dus zijn dat producten door bedrijven/vestigingen met een andere SBI-code worden gemaakt. Desalniettemin geeft deze indeling een redelijke indruk van volumes en exportwaarde in deelsectoren.

De conversie van HS naar PRODCOM is gedaan op basis van de internationale transponeringstabel zoals onder andere door CBS gepubliceerd. Niet alle HS-productgroepen hebben een eenduidige PRODCOM-groep waar toe ze behoren, daarom is in een enkel geval handmatig een inschatting gemaakt van tot welke SBI sector een HS-productcode behoort.

De navolgende tabel laat zien hoe SBI/PRODCOM groepen geclusterd tot 5 onderscheidende groepen zijn gemaakt. Daarbij is SBI/PRODCOM groep van overige organische basischemie gesplitst in '1e stap chemie', d.w.z. de eerste stap van raffinageproducten zoals nafta naar chemische bouwstenen. Dit zijn typisch de omzettingen die in een kraker plaatsvinden. We zijn hiervoor uitgegaan van de volgende chemische stoffen op basis van HS6-codes:

290121 Acyclic hydrocarbons; unsaturated, ethylene
290122 Acyclic hydrocarbons; unsaturated, propene (propylene)
290123 Acyclic hydrocarbons; unsaturated, butene (butylene) and isomers thereof
290124 Acyclic hydrocarbons; unsaturated, buta-1,3-diene and isoprene
290220 Cyclic hydrocarbons; benzene
290230 Cyclic hydrocarbons; toluene
290241 Cyclic hydrocarbons; o-xylene
290242 Cyclic hydrocarbons; m-xylene
290243 Cyclic hydrocarbons; p-xylene
290244 Cyclic hydrocarbons; mixed xylene isomers
290250 Cyclic hydrocarbons; styrene
290260 Cyclic hydrocarbons; ethylbenzene
290511 Alcohols; saturated monohydric, methanol (methyl alcohol)

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

SBI / PRODCOM (NB: binnen al deze groepen zijn alleen de organisch chemische producten (op basis van HS6-codes) opgenomen, in sommige groepen is maar zeer klein deel organische chemie		**Basischemie - 1e stap**	**Basischemie - overig**	**Basischemie - kunststoffen, rubbers & synthetische vezels**	**Coating, verf, lijm, wasmiddelen, overig**	**Fine & specialty (food/pharma/agri)**
13.10	Bewerken en spinnen van textielvezels*			x		
20.11	Vervaardiging van industriële gassen					
20.12	Vervaardiging van kleur- en verfstoffen				x	
20.13	Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën					
20.14	*Vervaardiging van overige organische basischemicaliën*	*x*				
20.14	*Vervaardiging van overige organische basischemicaliën*		*x*			
20.15	Vervaardiging van meststoffen en stikstofverbindingen					
20.16	Vervaardiging van kunststof in primaire vorm			x		
20.17	Vervaardiging van synthetische rubber in primaire vorm			x		
20.20	Vervaardiging van verdelgingsmiddelen en overige landbouwchemicaliën					x
20.30	Vervaardiging van verf, vernis e.d., drukinkt en mastiek				x	
20.41	Vervaardiging van zeep, wasmiddelen, poets- en reinigingsmiddelen				x	
20.42	Vervaardiging van parfums en cosmetica**					x
20.51	Vervaardiging van kruit en springstoffen en van lucifers				x	
20.52	Vervaardiging van lijm en bereide kleefmiddelen				x	
20.53	Vervaardiging van etherische oliën					x
20.59	Vervaardiging van overige chemische producten (rest)				x	
20.60	Vervaardiging van synthetische en kunstmatige vezels			x		
21.10	Vervaardiging van farmaceutische grondstoffen					x
21.20	Vervaardiging van farmaceutische producten (geen grondstoffen)**					X

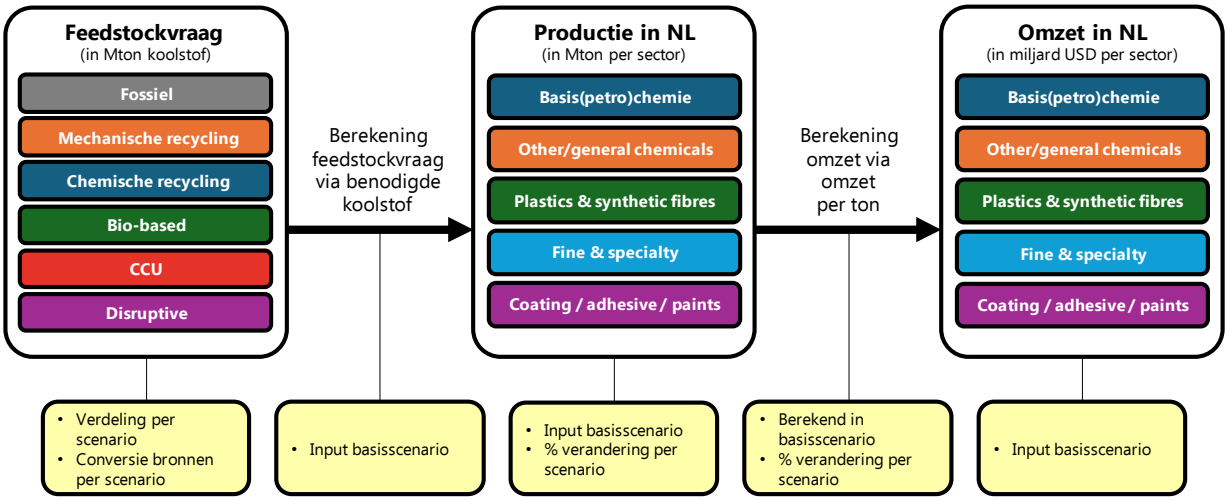
*) Dit betreft enkele gemengde categorieën met ook vezelproducten, hoeveelheden en economische waarde hiervan is gering

**) deze categorie is leeg omdat in de HS-indeling er geen onderscheid tussen cosmetische eindproducten en chemische producten wordt gemaakt

***) bij farmaceutische producten, zoals medicijnen, hebben we aangenomen dat fabrikanten veelal deze met kleine extra's inspanning tot product maken (bijv. pillen), daarom is hier behalve grondstoffen ook producten meegenomen

A4.2 Werking kwantitatieve model

Het onderstaande figuur geeft weer hoe het kwantitatieve model conceptueel werkt. Dit conceptuele model is geoperationaliseerd met data zoals beschreven in A4.1 en in Excel uitgewerkt. In het basisscenario wordt de productie per sector in Nederland, koolstofvraag per ton productie, en de omzet per sector als input gebruikt. In elk scenario wordt gedifferentieerd in de verdeling van feedstocks, % verandering in productie en % verandering in omzet per ton productie. Deze inputs per scenario zijn in de volgende paragraaf beschreven. Op basis hiervan kan een kwantitatief beeld geschetst worden van de productie, omzet en gevraagde feedstock in de scenario's zoals ze beschreven worden in hoofdstuk 4.



Relevante aannames bij het model:

- De hoeveelheden bij productie, omzet, koolstof- en feedstockvraag refereren naar jaarlijkse aantallen.
- Het model houdt geen rekening met een algemene groei naar de toekomst toe. Dit betekent dat het vraag/productie-veranderingen zijn ten opzichte van het basisscenario (dus de huidige situatie). Het is niet de verandering ten opzichte van een basisscenario waarin bijvoorbeeld richting 2050 groei voorzien wordt.

Enkele opmerkingen

- De scenario's die in dit rapport beschreven worden, zijn gebaseerd op een analyse van mogelijke drijvende krachten en daarmee is een narratief gemaakt. Wanneer de aannames hierbij in een kwantitatief model wordt gegoten, moet bij de interpretatie van de uitkomsten onderscheid gemaakt worden tussen uitkomsten van een scenario zelf die direct volgen uit de aannames (input in = output out) en bredere uitkomsten. De uitkomsten per scenario bieden context en een beeld bij het scenario, de vergelijking tussen de verschillende scenario's is echter interessanter en van toegevoegde waarde.

- Het model is in de basis redelijk eenvoudig en gebaseerd op aggregatie van veel data. Omdat de aannames per scenario algemeen zijn (bijvoorbeeld de vraag neemt 10 % af voor alle sectoren), moet er bij de interpretatie rekening worden gehouden dat de uitkomsten bedoeld zijn om ordegroottes aan te geven.

A4.3 Algemene inputs

In de onderstaande tabel worden de algemene model-inputs weergegeven. Deze zijn voornamelijk gebaseerd op de basisgegevens zoals beschreven in A4.1. De tabel toont de productie per sector in het basis(/huidige) scenario, gemiddelde koolstofpercentages per sector (in alle scenario's) en de omzet per sector in het basis(/huidige) scenario.

Niet scenario-specifieke inputs		
Basisproductie		
Basischemie - eerste stap	4,00	Mton
Basischemie - overige halffabricaten	4,25	Mton
Basischemie - kunststoffen en vezels	4,24	Mton
Pharma / agrifood / fine / special	0,74	Mton
Verf / lijm / wasmiddelen / overige chemische producten	0,93	Mton
Koolstofpercentage		
Basischemie - eerste stap	77 %	%
Basischemie - overige halffabricaten	68 %	%
Basischemie - kunststoffen en vezels	70 %	%
Pharma / agrifood / fine / special	68 %	%
Verf / lijm / wasmiddelen / overige chemische producten	55 %	%
Basisomzet		
Basischemie - eerste stap	$ 3,55	Miljard USD
Basischemie - overige halffabricaten	$ 7,28	Miljard USD
Basischemie - kunststoffen en vezels	$ 9,25	Miljard USD
Pharma / agrifood / fine / special	$ 11,06	Miljard USD
Verf / lijm / wasmiddelen / overige chemische producten	$ 3,00	Miljard USD

Input per scenario

In de onderstaande tabellen worden de inputs per scenario weergegeven, gevolgd door de motivatie voor de gekozen inputs. Getallen tussen haakjes zijn negatief (afname) en getallen zonder haakjes zijn positief (toename). Op basis van deze inputs wordt er tussen de verschillende scenario's gedifferentieerd.

Scenario's:	Basis	Green Deal on steroids	Plastic Panic	Geïsoleerd Europa	Big Carbon Tech
Vraag-/productieverandering					
Basischemie - eerste stap	-	(20,00)%	(50,00)%	(20,00)%	-
Basischemie - overige halffabricaten	-	(10,00)%	(60,00)%	(10,00)%	-
Basischemie - kunststoffen en vezels	-	(20,00)%	(60,00)%	(10,00)%	-
Pharma / agrifood / fine / special	-	-	-	10,00 %	-
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	-	-	-	20,00 %	-

Motivatie vraag-/productieverandering

In de scenario's is bewust gekozen voor scherpe veranderingen in vraag/productie, omdat de scenario's de randen van de mogelijke toekomst aangeven. Hierbij is niet rekening gehouden met een algemene groei, zoals eerder beschreven bij de algemene aannames. Waar mogelijk hebben we onderstaand een verdere motivatie per scenario beschreven.

Green deal on steroids: in dit scenario blijft de vraag naar chemische producten relatief stabiel, hoewel er grotere materiaal-efficiëntie zal zijn (minder materiaal in hetzelfde product) gecombineerd met substitutie (bijv. meer hout en papier). Dit wordt weerspiegelt in een lagere vraag naar halffabricaten (-10%) en vooral kunststoffen (-20%). Omdat de exportmarkt vanuit de EU beperkt is, krimpt ook de totale vraag naar basischemicaliën (-20%). De vraag naar hoogwaardige(re) producten neemt in dit scenario niet af.

Plastic Panic: de verlaagde vraag richt zich in eerste instantie vooral op kunststoffen. Kijkend naar de toepassingen van kunststoffen, zullen dit vooral verpakkingen (~30%), een groot deel van de gebruiksvoorwerpen zoals textiel en speelgoed (~40%), land- en tuinbouwfolies (~4%) en een klein deel van de kunststoffen gebruikt in de bouwsector (~15%) zijn[78], waarbij we tot de aanname van een totale verandering van minus 60% komen. Volgend uit het wegvallen van de kunststoffen en de beschreven uitdagende omstandigheden om de energie-intensieve eerdere stappen in de keten te behouden in Europa, verwachten we bij de eerste stap en overige halffabricaten in de basischemie ook grote verlaging van vraag (respectievelijk minus 50 en minus 60%). Hoogwaardige chemie in dit scenario blijft wel behouden.

Geïsoleerd Europa: vanwege het wegvallen van een exportmarkt en is hier uitgegaan van een gereduceerde vraag in de basischemie (voornamelijk eerste stap). Er is echter ook veel investeringsbereidheid om zelfvoorzienend te worden, waardoor productie laatste 2 categorieën toeneemt.

Big Carbon Tech: in dit scenario is er geen verandering in de vraag.

[78] Bronnen zijn niet geheel in lijn met elkaar over de verdeling van geproduceerd kunststof over verschillende toepassingen. De aangegeven percentages zijn gebaseerd op cijfers uit het Actieplan Toepassen Kunststof Recyclaat door het KIDV (2021) en Plasticgebruik en verwerking van plastic afval in Nederland door CE Delft (2019).

Scenario's:	Basis[79]	Green Deal on steroids	Plastic Panic	Geïso-leerd Europa	Big Carbon Tech
Feedstock-verdeling					
Fossiel	88,00 %	-	-	-	-
Mechanische recycling	8,00 %	30,00 %	5,00 %	32,50 %	10,00 %
Chemische recycling	1,00 %	30,00 %	30,00 %	40,00 %	10,00 %
Biobased	3,00 %	30,00 %	60,00 %	15,00 %	15,00 %
CCU	-	10,00 %	5,00 %	12,50 %	10,00 %
Disruptive	-	-	-	-	55,00 %

Motivatie feedstockverdeling

Green deal on steroids: de EU zet in dit scenario vol in op zowel beide vormen van recycling en bio-based, en CCU ontwikkelt zich ook langzaam.

Plastic Panic: vanwege de plastic paniek ontstaat een sterk wantrouwen in mechanische recycling. Chemische recycling raakt echter wél in een vlucht omdat hiermee hogere kwaliteit kan worden bereikt dan de combinatie van oude plastics en biodegradable. Voor biobased commodities die bio-afbreekbaar zijn ontstaat veel ruimte in dit scenario. CCU ontwikkelt zich gematigd.

Geïsoleerd Europa: in dit scenario domineren alle vormen van recycling omdat ze dienen als vervanging van niet-Europese fossiele bronnen. Daarom wordt ook sterk geïnvesteerd in technologieën die de koolstofvraag kunnen opvangen binnen Europa. Bio-based is in dit scenario relatief klein omdat het afhankelijk is van Europese bronnen.

Big Carbon Tech: in dit scenario domineert de nieuw te introduceren disruptive.

Scenario's:	Basis	Green Deal on steroids	Plastic Panic	Geïsol-eerd Europa	Big Carbon Tech
Prijs-verandering					
Basischemie - eerste stap	-	5,00 %	15,00 %	20,00 %	(10,00)%
Basischemie - overige halffabricaten	-	5,00 %	-	10,00 %	(10,00)%
Basischemie - kunststoffen en vezels	-	5,00 %	30,00 %	10,00 %	(10,00)%
Pharma / agrifood / fine / special	-	5,00 %	-	10,00 %	(10,00)%
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	-	5,00 %	-	10,00 %	(10,00)%

Motivatie prijsverandering

Green deal on steroids: omdat Europa een afgeschermde markt wordt, is in dit scenario uitgegaan van een lichte stijging in alle prijzen.

Plastic Panic: omdat de eerste stap in basischemie geïmporteerd moet worden, kan wat in EU geproduceerd wordt hogere prijzen vragen. De hoge eisen aan plastics zorgen voor veel hogere prijzen.

[79] Feedstock-verdeling in basisscenario is gebaseerd op de Brightsite Transition Outlook 2023 en een artikel van Rinke Dias de Souza et al. (2024), waarbij is gecorrigeerd voor het (non-)energetisch gebruik.

Geïsoleerd Europa: de algemene schaarste in dit scenario zorgt voor sterk toegenomen prijzen, vooral voor basischemicaliën.
Big Carbon Tech: de nieuwe technologie in dit scenario drijft de prijzen over de hele breedte naar beneden.

A4.4 Uitkomsten per scenario

In deze paragraaf worden de uitkomsten per scenario uitgewerkt. Deze uitwerking bestaat uit 2 tabellen met uitkomsten en een visualisatie. De eerste tabel drukt de productie, koolstofvraag en omzet per sector uit en de tweede tabel de koolstofvraag verdeeld over de feedstockstromen. De visualisatie brengt dit bij elkaar door de koolstofvraag onder te verdelen naar feedstock (links) en sectoren (rechts).

Basisscenario

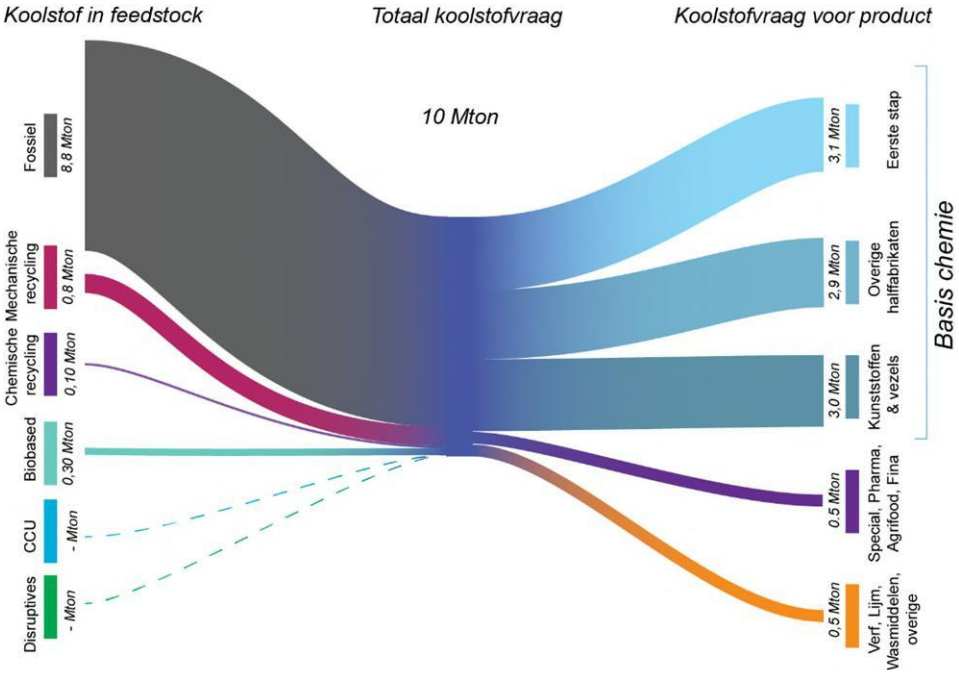
Het basisscenario bestaat grotendeels uit de input op basis van de data zoals beschreven in het eerste deel van deze bijlage. Let op! De cijfers in de onderstaande tabellen zijn het gevolg van optellingen uit de ComTrade. De getallen moeten niet worden gezien als een significantie die een nauwkeurigheid aangeeft.

Basisscenario	Productie (in Mton)	Koolstofvraag (in Mton)	Gemiddeld prijs per ton (in USD)	Omzet (in miljard USD)
Basischemie - eerste stap	4,00	3,08	888	3,6
Basischemie - overige halffabricaten	4,25	2,89	1.713	7,3
Basischemie - kunststoffen en vezels	4,24	2,97	2.182	9,3
Pharma / agrifood / fine / special	0,74	0,50	14.946	11,1
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	0,93	0,51	3.226	3,0
Totaal	14,16	9,95	-	34,1

Basisscenario	Feedstockvraag (in Mton)
Fossiel	8,76
Mechanische recycling	0,80
Chemische recycling	0,10
Bio-based	0,30
CCU	-
Disruptive	-
Totaal	9,95

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

Visuele voorstelling van scenario in termen van koolstofstroom:



Green Deal on Steroids

Let op! De cijfers in de onderstaande tabellen zijn het gevolg van optellingen uit de ComTrade.
De getallen moeten niet worden gezien als een significantie die een nauwkeurigheid aangeeft.

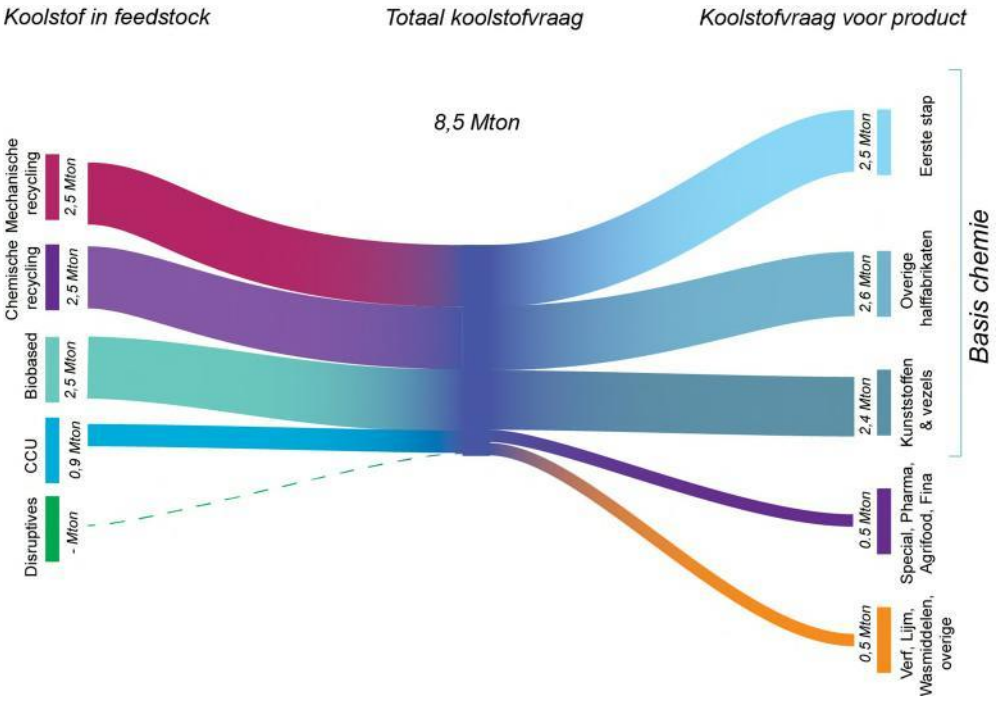
Green Deal on Steroids	**Productie** (in Mton)	**Koolstofvraag** (in Mton)	**Gemiddeld prijs per ton** (in USD)	**Omzet** (in miljard USD)
Basischemie - eerste stap	3,20	2,46	932	3,0
Basischemie - overige halffabricaten	3,83	2,60	1.799	6,9
Basischemie - kunststoffen en vezels	3,39	2,37	2.291	7,8
Pharma / agrifood / fine / special	0,74	0,50	15.693	11,6
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	0,93	0,51	3.387	3,2
Totaal	12,09	8,45	-	32,54

Green Deal on Steroids	**Feedstockvraag** (in Mton)
Fossiel	-
Mechanische recycling	2,54
Chemische recycling	2,54
Bio-based	2,54
CCU	0,85
Disruptive	-
Totaal	8,45

Tabel 4.3 Financiële eindsituatie van dit scenario

Deelsector	Geschatte verschil in financiële omzet t.o.v. basisscenario
Basischemie: Eerste stap	16% krimp
Basischemie overige halffabricaten	5,5% krimp
Basischemie kunststoffen en vezels	16% krimp
Pharma/agrifood/fine/special	5% groei
Verf/lijm/wasmiddelen/ etc.	5% groei
Totaal	**5% krimp**

Visuele voorstelling van scenario in termen van koolstofstroom:



Plastic Panic

Let op! De cijfers in de onderstaande tabellen zijn het gevolg van optellingen uit de ComTrade. De getallen moeten niet worden gezien als een significantie die een nauwkeurigheid aangeeft.

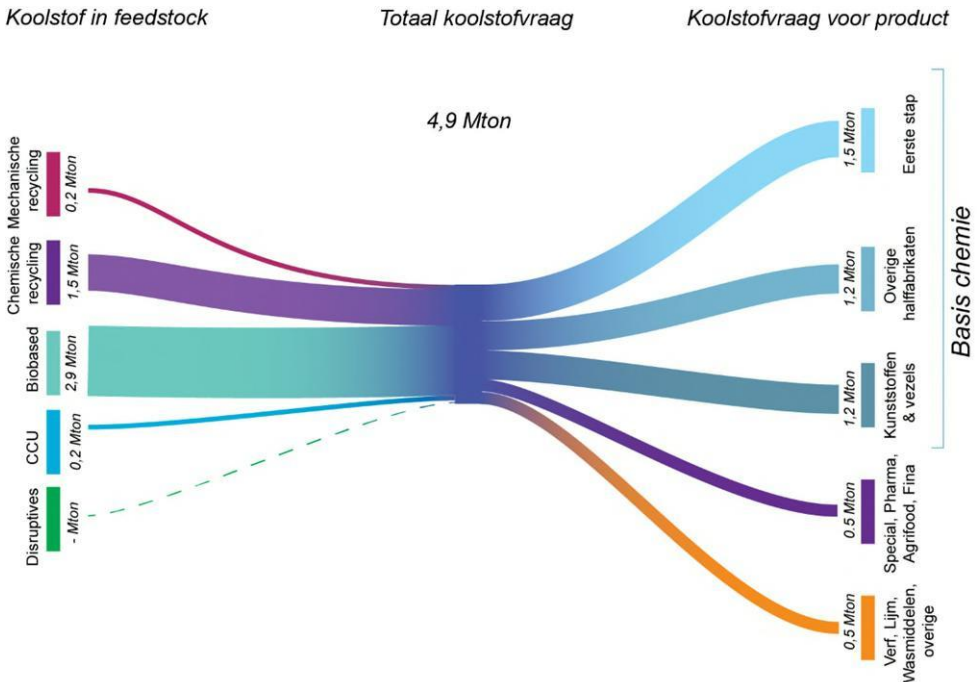
Plastic Panic	Productie (in Mton)	Koolstofvraag (in Mton)	Gemiddeld prijs per ton (in USD)	Omzet (in miljard USD)
Basischemie - eerste stap	2,00	1,54	1.021	2,0
Basischemie - overige halffabricaten	1,70	1,16	1.713	2,9
Basischemie - kunststoffen en vezels	1,70	1,19	2.836	4,8
Pharma / agrifood / fine / special	0,74	0,50	14.946	11,1
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	0,93	0,51	3.226	3,0
Totaal	7,07	4,90	-	23,8

Plastic Panic	Feedstockvraag (in Mton)
Fossiel	-
Mechanische recycling	0,24
Chemische recycling	1,47
Bio-based	2,94
CCU	0,24
Disruptive	-
Totaal	4,90

Tabel 4: Financiële eindsituatie van dit scenario

Scenario	Geschatte verschil in financiële omzet t.o.v. basisscenario
Basischemie: Eerste stap	42% krimp
Basischemie overige halffabricaten	60% krimp
Basischemie kunststoffen en vezels	48% krimp
Pharma / agrifood/ fine/special	gelijk
Verf/lijm/wasmiddelen/ etc.	gelijk
Totaal	**30% krimp**

Visuele voorstelling van scenario in termen van koolstofstroom:



Geïsoleerd Europa

Let op! De cijfers in de onderstaande tabellen zijn het gevolg van optellingen uit de ComTrade. De getallen moeten niet worden gezien als een significantie die een nauwkeurigheid aangeeft.

Geïsoleerd Europa	Productie (in Mton)	Koolstofvraag (in Mton)	Gemiddeld prijs per ton (in USD)	Omzet (in miljard USD)
Basischemie - eerste stap	3,20	2,46	1.065	3,4
Basischemie - overige halffabricaten	3,83	2,60	1.884	7,2
Basischemie - kunststoffen en vezels	3,82	2,67	2.400	9,2
Pharma / agrifood / fine / special	0,81	0,55	16.441	13,4
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	1,12	0,61	3.548	4,0
Totaal	12,77	8,90	-	37,1

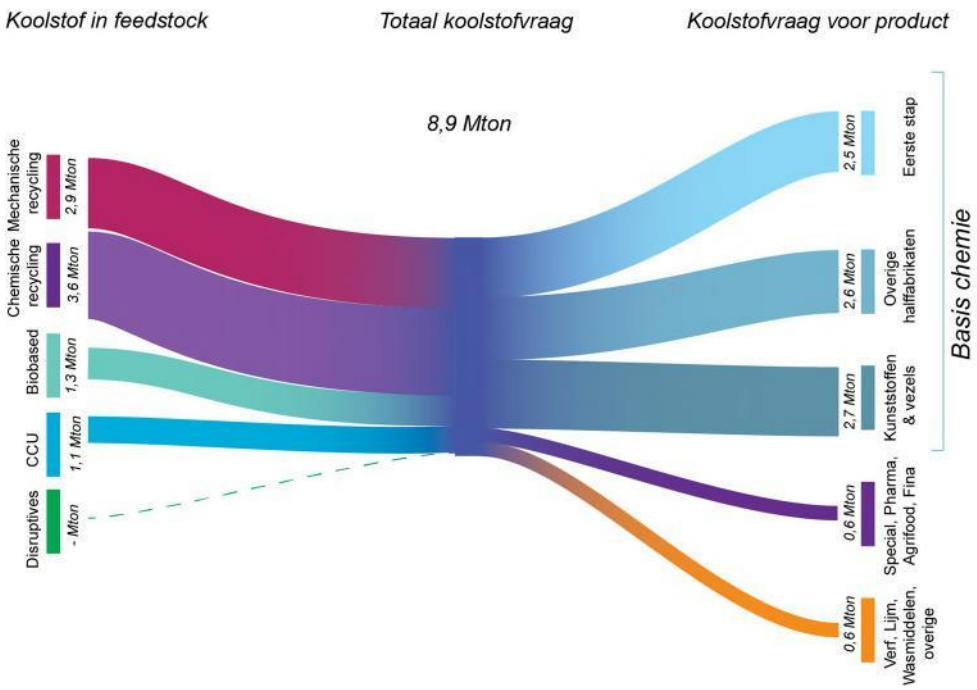
Geïsoleerd Europa	Feedstockvraag (in Mton)
Fossiel	-
Mechanische recycling	2,89
Chemische recycling	3,56
Bio-based	1,34
CCU	1,11
Disruptive	-
Totaal	8,90

Tabel 5: Financiële eindsituatie van dit scenario

Scenario	Geschatte verschil in financiële omzet t.o.v. basisscenario
Basis chemie: Eerste stap	4% krimp
Basischemie overige halffabricaten	1% krimp
Basischemie kunststoffen en vezels	1% krimp
Pharma / agrifood/ fine/special	21% groei
Verf/lijm/wasmiddelen/ etc.	32% groei
Totaal	**8,71% krimp**

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

Visuele voorstelling van scenario in termen van koolstofstroom:



Big Carbon Tech

Let op! De cijfers in de onderstaande tabellen zijn het gevolg van optellingen uit de ComTrade.
De getallen moeten niet worden gezien als een significantie die een nauwkeurigheid aangeeft.

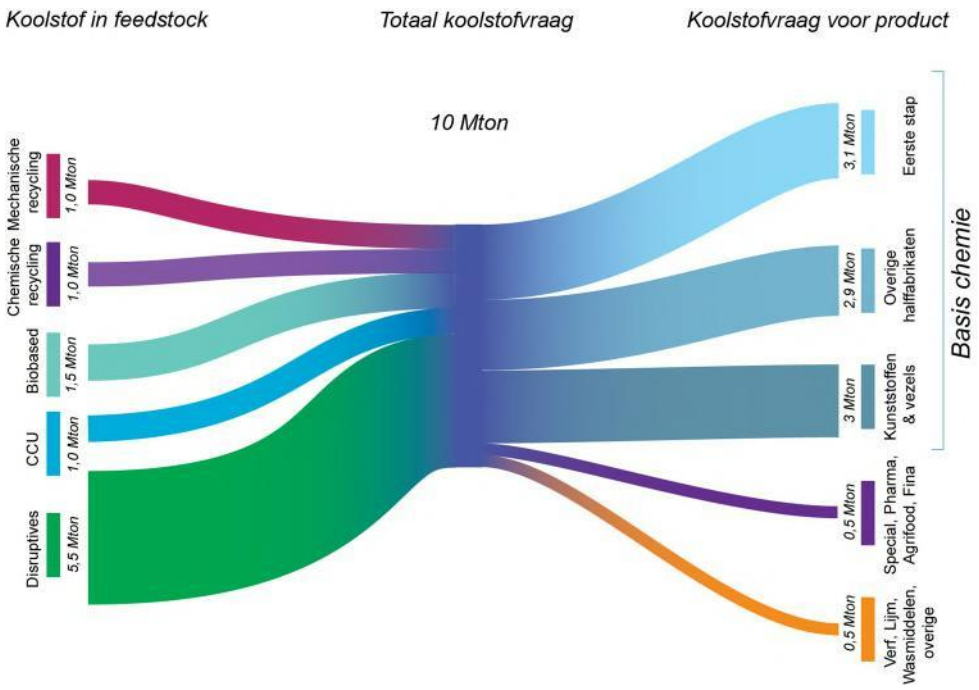
Big Carbon Tech	**Productie** (in Mton)	**Koolstofvraag** (in Mton)	**Gemiddeld prijs per ton** (in USD)	**Omzet** (in miljard USD)
Basischemie - eerste stap	4,00	3,08	799	3,2
Basischemie - overige halffabricaten	4,25	2,89	1.542	6,6
Basischemie - kunststoffen en vezels	4,24	2,97	1.963	8,3
Pharma / agrifood / fine / special	0,74	0,50	13.451	10,0
Verf / lijm / wasmiddelen / etc.	0,93	0,51	2.903	2,7
Totaal	14,16	9,95	-	30,7

Big Carbon Tech	Feedstockvraag (in Mton)
Fossiel	-
Mechanische recycling	1,00
Chemische recycling	1,00
Bio-based	1,49
CCU	1,00
Disruptive	5,47
Totaal	9,95

Figuur 4.1 Geschatte materiaalstromen Big Carbon Tech

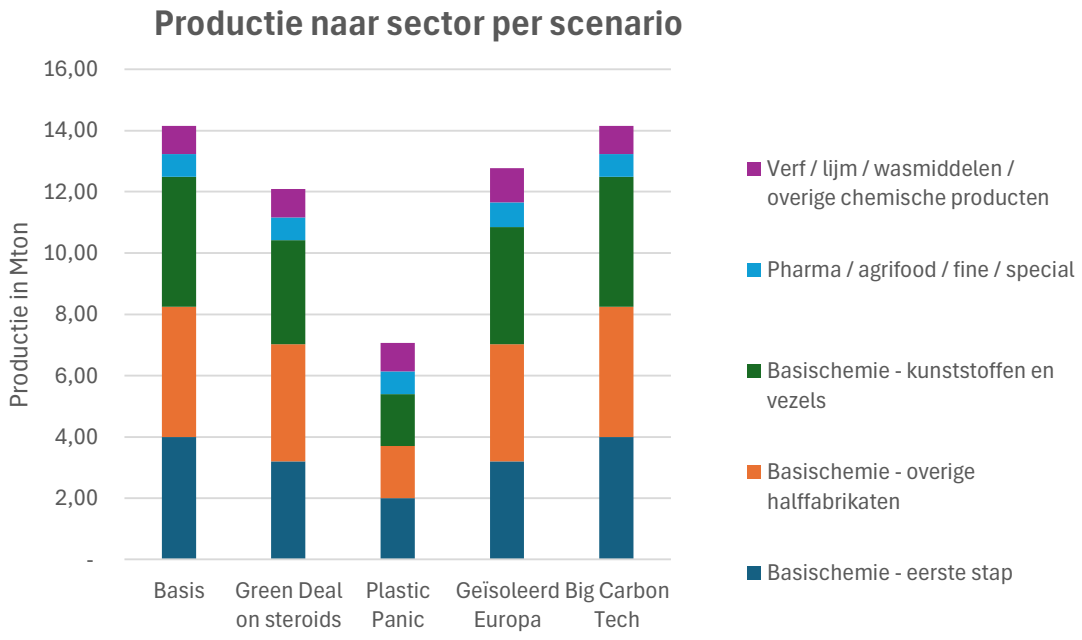
Scenario	Geschatte verschil in financiële omzet t.o.v. basisscenario
Basis chemie: Eerste stap	10% krimp
Basischemie overige halffabricaten	10% krimp
Basischemie kunststoffen en vezels	10% krimp
Pharma / agrifood/ fine/special	10% krimp
Verf/lijm/wasmiddelen/ etc.	10% krimp
Totaal	10% krimp

Visuele voorstelling van scenario in termen van koolstofstroom:

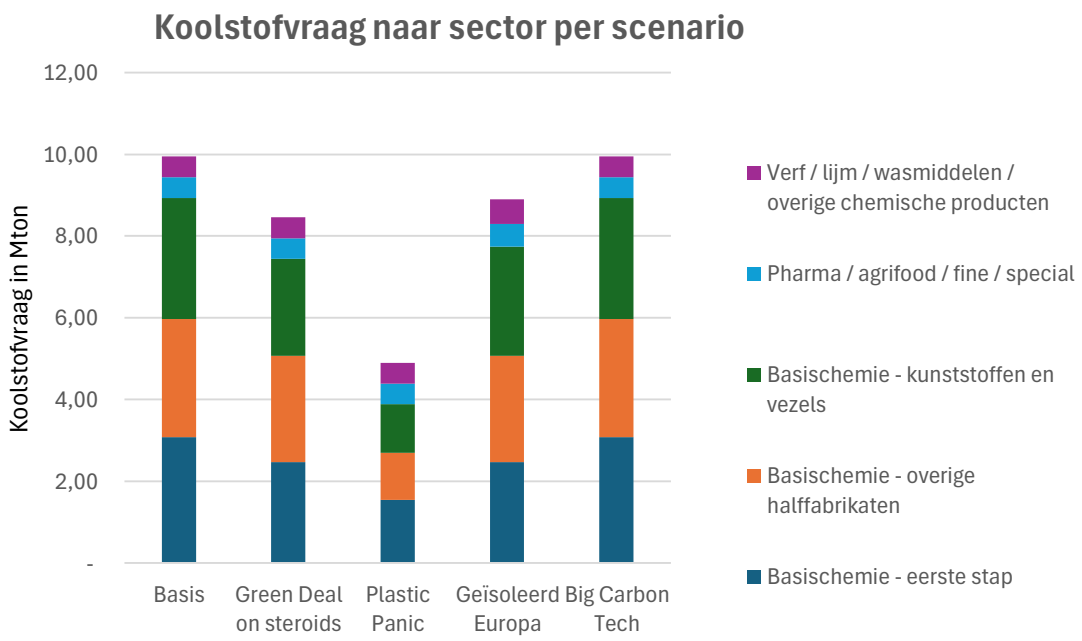


A4.5 Vergelijking van scenario's

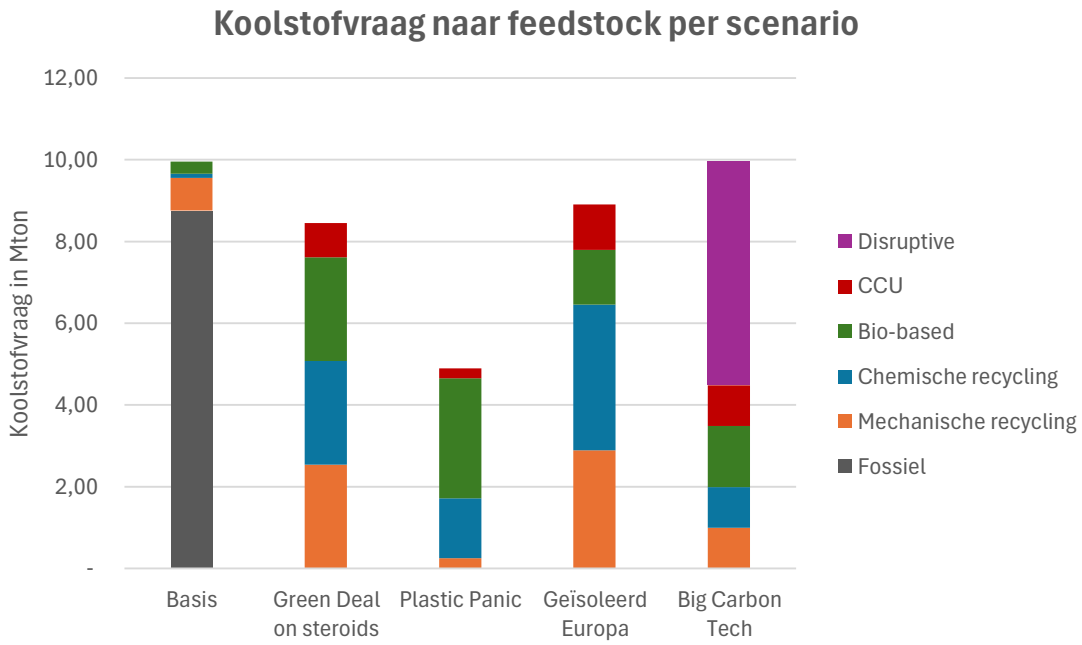
Deze paragraaf toont verschillende grafieken waarin de uitkomsten per scenario met elkaar vergeleken worden.



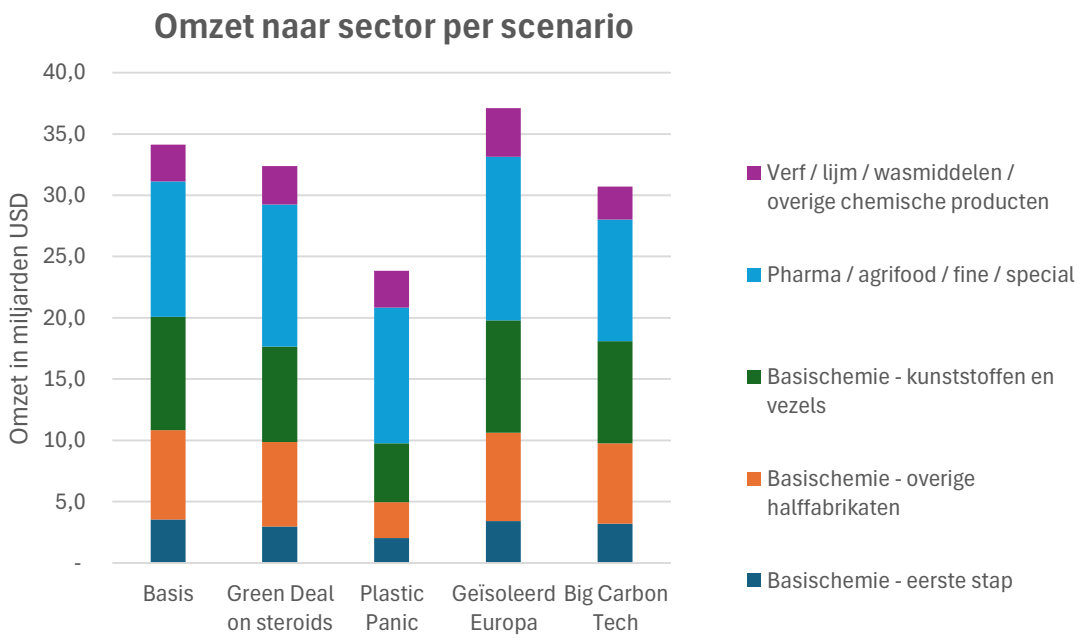
In de bovenstaande grafiek zijn de productiehoeveelheden in de verschillende scenario's met elkaar vergeleken. De opbouw per scenario in kleuren geeft aan in welke sector deze productie plaatsvindt.



De bovenstaande grafiek toont de koolstofvraag per scenario, waarin de kleuren de opbouw per sector aangeeft. Omdat de hoeveelheid koolstof per ton productie niet sterk verschilt tussen de sectoren, is het relatieve verschil niet groot in vergelijking met de productie per scenario.



De bovenstaande grafiek drukt de koolstofvraag per scenario uit in verschillende feedstockstromen, waarbij de kleuren refereren naar de verschillende feedstocks en niet sectoren zoals de andere grafieken. Hierbij valt op dat fossiel in het basisscenario erg groot is, maar in de (duurzame koolstofchemie)scenario's uitgefaseerd is. Daarnaast heeft het Big Tech Carbon-scenario als enige disruptives als feedstock.



De bovenstaande grafiek drukt de omzet per scenario uit, waarbij de kleuren (net als bij productie en koolstofvraag) refereren naar de sectoren. Het relatieve verschil tussen de scenario's is hierbij een stuk kleiner dan bijvoorbeeld bij productie, wat verklaard wordt door de Fine & Specialty-sector. Deze sector produceert een relatief kleine hoeveelheid (wat gepaard gaat met een lage koolstofvraag) maar tegen een hoge prijs per ton dus een hoge omzet.

A4.6 Conversie feedstockvraag naar bronnen

De koolstofvraag van de productie kan met verschillende feedstocks ingevuld worden. Deze feedstockvraag wordt nu grotendeels ingevuld met fossiele grondstoffen. In de scenario's voor een duurzame koolstofchemie wordt aan deze feedstockvraag voldaan met een wisselende mix aan feedstocks. Voor deze feedstocks zijn echter ook bronnen nodig. Zo is voor (zowel mechanische en chemische) recycling (plastic) afval nodig, voor bio-based feedstock worden landbouwproducten nodig, wat omgerekend kan worden naar landbouwareaal. Voor CCU moet CO_2 afgevangen worden uit productieprocessen en daarnaast is waterstof nodig het om te zetten tot grondstoffen voor de koolstofchemie. In de onderstaande tabellen wordt een inschatting gemaakt van de benodigde bronnen per feedstock. De eerste tabel geeft de inputs weer en de tweede de benodigde bronnen per scenario.

Kenmerk R002-1297489JZE-V02-ivl-NL

	Basis		Green Deal on steroids		Plastic Panic	
	Onder	Boven	Onder	Boven	Onder	Boven
Plastic afval nodig voor feedstockvraag recycling (Mton)	4,7	9,9	26,9	56,3	9,1	19,0
Restafval nodig voor feedstockvraag recycling (Mton)	5,7	16,2	32,5	91,8	11,0	31,0
Landoppervlakte nodig voor feedstockvraag biobased (ha)	149.291	1.552.621	1.268.115	13.188.396	1.469.370	15.281.448
Aantal keer NL's akkerbouw areaal (0,55 M ha)	0,3	2,8	2,3	24,0	2,7	27,8
Aantal keer NL's agrarisch areaal (2,2 M ha)	0,1	0,7	0,6	5,9	0,7	6,8
Aantal keer NL totaal areaal (4,2 M ha)	0,0	0,4	0,3	3,1	0,3	3,6
Benodigde energie voor afvangen koolstof voor CCU uit productieprocessen (PJ)	-	-	4,6	12,4	1,3	3,6
Benodigd waterstof voor koolstofvraag CCU (Mton)		-		0,42		0,12

	Geïsoleerd Europa		Big Carbon Tech	
	Onder	Boven	Onder	Boven
Plastic afval nodig voor feedstockvraag recycling (Mton)	34,2	71,7	10,5	22,1
Restafval nodig voor feedstockvraag recycling (Mton)	41,3	116,8	12,7	36,0
Landoppervlakte nodig voor feedstockvraag biobased (ha)	667.764	6.944.746	746.453	7.763.106
Aantal keer NL's akkerbouw areaal (0,55 M ha)	1,2	12,6	1,4	14,1
Aantal keer NL's agrarisch areaal (2,2 M ha)	0,3	3,1	0,3	3,5
Aantal keer NL totaal areaal (4,2 M ha)	0,2	1,7	0,2	1,8
Benodigde energie voor afvangen koolstof voor CCU uit productieprocessen (PJ)	6,1	16,4	5,5	14,6
Benodigd waterstof voor koolstofvraag CCU		0,56		0,50