



Foto: Exxon

CLUSTER GRONDSTOFFEN STRATEGIE 1.0

Rapport over de randvoorwaarden van de transitie naar circulaire grondstoffen in de chemie en brandstoffen industrie en de huidige projecten binnen het Haven en Industrieel Complex (HIC) Rotterdam Moerdijk.

Rotterdam, maart 2025

Auteurs: Koen van Ederen en Eline van Krimpen
Visueel design: Sterre Minkema

Management samenvatting

Nederland heeft ambitieuze doelstellingen op het gebied van circulariteit. In 2050 moet de Nederlandse economie volledig circulair zijn. Het HIC Rotterdam-Moerdijk speelt hierin een belangrijke rol, omdat het met zijn brandstoffen- en chemische industrie een van de grootste koolstofclusters van Europa is. Een van de grootste opgaves binnen het cluster is het vervangen van fossiele grondstoffen – met name aardolie en aardgas – door circulaire grondstoffen – de grondstoffentransitie. Dit rapport heeft als doel om de huidige situatie in kaart te brengen en essentiële randvoorwaarden te identificeren om de grondstoffentransitie mogelijk te maken.

Brandstoffen en chemie productie in het HIC

Op basis van de MIDDEN database van 2021, verwerkt het HIC 47 Mt aan ruwe olie in vier raffinaderijen. Zij produceren voornamelijk diesel (19%), kerosine (17%), nafta (15%) en benzine (6%). Ook wordt er al 2,7 Mt aan biomassa geraffineerd, voornamelijk tot eetbare oliën en biodiesel.

Daarnaast wordt in het HIC een grote selectie aan chemicaliën geproduceerd uit Nafta en andere basischemicaliën. Het grootste deel bestaat uit de productie van monomeren en polymeren (55,7%), brandstofadditieven (18,2%) en een diverse selectie aan additieven voor o.a. verf, coatings en cosmetica (19,4%).

Biomassa

In een circulair cluster zijn er drie grondstoffen: biomassa, kunststofafval, en (rest)gassen. Biomassa zal de belangrijkste grondstof worden en is afkomstig uit drie verschillende stromen: energiegewassen, reststromen en aquatische biomassa. De belangrijkste verwerkingstechnieken voor biomassa zijn esterificatie, pyrolyse, vergassing en fermentatie. Om biomassa breder in te kunnen zetten, moet er voldaan worden aan de juiste randvoorwaarden. Dit betreft onder andere constante toevoerstromen, infrastructuur om met vaste stoffen te werken en afzetmarkten voor de, ten opzichte van fossiel, duurdere bio-gebaseerde producten.

Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten met biomassa

Viterra produceert biodiesel uit raapolie en koolzaadolie. VARO en Gunvor produceren SAF uit rest oliën en vetten. Shell Pernis gaat SAF en biodiesel produceren uit dezelfde bron. Neste produceert SAF, biodiesel en bioLPG en gaat de capaciteit uitbreiden. Ook zij maken gebruik van rest oliën en vetten. SPIE en C-green produceren brandstoffen in een modulaire fabriek die rioolslib omvormt. Vopak breidt de opslagcapaciteit uit om meer biobrandstof op te kunnen slaan. Cepsa gaat groene methanol opslaan in opslagfaciliteiten van Epsa.

Plastic reststromen

Plastic afval zal in de circulaire economie de tweede belangrijke koolstofbron zijn en is essentieel om de keten te sluiten. De reststromen bestaan uit een grote variëteit aan plastics, voornamelijk PP, PE, PS, PET en PVC. Ook de sectoren waarin het afval geproduceerd wordt, zijn divers. Zo worden plastics geproduceerd in sectoren zoals verpakkingen, bouw, landbouw, elektronica, auto-industrie en huishoudens. Om de afval, die hieruit voorkomt energie-efficiënt te recycleren is het belangrijk dat deze afvalstromen goed gescheiden worden. Op dit moment worden ze voornamelijk mechanisch gerecycled. Echter, door de complexiteit van de materialen, door lastig te scheiden afval en door vervuiling van de afvalstromen kunnen niet alle plastics mechanisch verwerkt worden tot het vereiste kwaliteitsniveau. Chemische recycling is essentieel om mechanisch onverwerkbaar reststromen circulair te maken. Beschikbare chemische recycling technologieën zijn pyrolyse, vergassing, depolymerisatie en solvolyse. De chemische structuren van de plastics worden het minst afgebroken bij depolymerisatie en solvolyse, waardoor er mindere verwerkingsstappen nodig zijn om nieuw plastic te produceren. Naar verwachting zal pyrolyse een groot deel van de chemische recycling realiseren. Om plastics circulair toe te kunnen passen op grote schaal, moet aan een aantal randvoorwaarden worden voldaan. Het is noodzakelijk om afspraken te maken over het productontwerp, zodat het plastic recyclet kan worden en het product uit recyclaat gemaakt kan worden. Ook moeten er afzetmarkten gecreëerd worden door de inzet van recyclaat te promoten. Ook moet de hoeveelheid inzetbare afval vergroot worden, technieken moeten doorontwikkeld worden en de infrastructuur binnen het HIC moet aangepast worden op vaste massa. Wet- en regelgeving kan hierin stimulerend en sturend werken.

Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten met plastic reststromen

Pryme produceert pyrolyse olie uit plastic afval. Xcycle zal plastic afval recycleren door middel van depolymerisatie. Shell bouwt een pyrolyse upgrader om pyrolyse olie bij te mengen in de kraker. Enerkem past vergassing toe om plastic afval te gebruiken voor SAF. Gidara zal plastic afval verwerken door middel van vergassing tot methanol. N + P group focust zich op het sorteren van plastic afval. Tepsa ontwikkelt tankopslag voor vloeibare plastics.

(Rest)gassen

(Rest)gassen kunnen een additionele koolstofbron zijn, waarmee tegelijkertijd CO₂ uitstoot teruggedrongen kan worden. Restgassen zijn inherent aan de productie van brandstoffen en diverse basischemicaliën, ongeacht de gebruikte grondstof. Naast gassen uit de industrie kan CO₂ ook uit de lucht gehaald worden door middel van Direct Air Capture. Het voornaamste restgas is CO₂, maar ook bijvoorbeeld methaan, ethaan en propaan kunnen onderdeel zijn van de mix van restgassen die ontstaan tijdens productieprocessen. Er is een breed palet aan technieken beschikbaar om deze stoffen tot hoogwaardige producten te verwerken, maar veel hebben op dit moment een laag TRL-niveau en zijn niet toepasbaar op commerciële schaal. De inzetbaarheid van restgassen zal afhangen van de technologische ontwikkelingen. Reductie in energie gebruik en dus kosten is noodzakelijk om het gebruik van restgassen als grondstof rendabel te maken. De infrastructuur kan ook voorbereid worden door het netwerk uit te breiden en de juiste gassen te bundelen of te filteren. Beleid kan hier stimulerend werken door het belonen van verwerking van restgassen.

Huidige bedrijfsactiviteit en projecten met (rest)gassen

Advario en Power2x gaan e-SAF produceren. CO₂Next focust op opslag van CO₂. Exxonmobil gaat CO₂ afvangen met carbonaatbrandstofcellen.

Alle koolstofbronnen toepassen en goede samenwerking zijn de sleutel

Bedrijven in het HIC moeten zich voorbereiden op het gebruik van nieuwe grondstoffen. Voor volledige circulariteit en om voldoende grondstoffen te verkrijgen is het belangrijk dat alle product- en reststromen zo veel mogelijk gebruikt worden. Alleen door effectieve samenwerking kan het HIC de circulaire transitie succesvol realiseren en een toekomstbestendige, duurzame industrie verzekeren.

Inhoudsopgave

Management samenvatting	2
Inleiding	6
Het HIC in cijfers	6
Brandstoffen	7
Biobrandstoffen en –oliën	7
Chemie	8
Circulariteit binnen het HIC	9
Koolstofwaardeketen 1: biomassa als grondstof	10
Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten	12
Randvoorwaarden	12
Ontwikkeling van stabiele en flexibele toevoerstromen	12
Infrastructuuraanpassingen	13
Ontwikkelen van afzetmarkten voor duurdere primaire producten en nevenstromen	13
Beleid voor biomassa met een focus op coördinatie, cascaderen, duurzaamheid en techniek	13
Waardeketen 2: Plastic reststromen als grondstof	14
Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten	16
Randvoorwaarden	17
Verbeteren van afvalbeschikbaarheid en inzameling	17
Technologische innovatie	17
Ontwikkelen van afzetmarkten voor recyclaat	18
Circulair product ontwerp	18
Infrastructuuraanpassingen voor plastics	18
Beleid voor plastic afval gericht op verplichte bijmenging, productontwerp en techniek	18
Waardeketen 3: Restgassen als grondstof	20
Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten	22
Randvoorwaarden	23
Te kort aan alternatieve, duurzame grondstoffen	23
Infrastructuuraanpassingen	23
Technologische ontwikkeling	23
Beleid voor restgassen	23
Algemene systemische randvoorwaarden	24
Samenwerking en coördinatie	24
Intraclustersamenwerking	24
Intersectorale samenwerking	24
Internationale samenwerking	24
Technologische ontwikkeling	25

Ruimtebeschikbaarheid voor groene productie en innovatie	25
Conclusie en aanbevelingen	26
Bronnen consultatie.....	27
Bijlage.....	28

Inleiding

De transitie naar een circulaire economie vraagt om een drastische vermindering van fossiele grondstoffen in de komende decennia. Dit gebeurt door zowel de vervanging van fossiele grondstoffen als de aanpassing van eindproducten. Brandstoffen zullen zoveel mogelijk vervangen worden door elektriciteit en waterstof, maar koolstof blijft essentieel voor een deel van de productie van chemische producten en bunkerbrandstoffen voor luchtvaart, zeescheepvaart en zwaar wegtransport. Hiervoor zijn duurzame, circulaire koolstofbronnen nodig. Dit rapport richt zich op deze transitie en laat technologische alternatieven voor eindproducten buiten beschouwing.

Om deze circulaire transitie te realiseren zijn er ambitieuze doelstellingen vastgesteld. Het landelijke programma Nederland Circulair in 2050 streeft naar volledige circulariteit in 2050. Hiervoor zijn doelen opgesteld voor het HIC, waardoor in 2030 6 Mt aan circulaire producten geproduceerd moeten worden. Deze doelen geven richting aan de transitie, maar de concrete uitvoering binnen het Haven Industrieel Complex (HIC) Rotterdam-Moerdijk blijft een uitdaging.

De transitie naar circulaire koolstof vereist fundamentele veranderingen. De gebruikte grondstoffen zullen afkomstig zijn uit een bredere mix, productietechnologieën zullen vernieuwen en eindproducten zullen veranderen. Extra verwerkingsstappen, zoals verbeterde recycling en voorverwerking van biomassa, zijn noodzakelijk. Dit vraagt om samenwerking tussen bedrijven, sectoren, industrieclusters en overheden op regionaal, nationaal en internationaal niveau. De bedrijven binnen het cluster spelen een sleutelrol in de richting van de transitie, terwijl het Havenbedrijf Rotterdam en andere stakeholders de ruimtelijke en beleidsmatige randvoorwaarden bepalen. Een gezamenlijke en gecoördineerde aanpak is essentieel om circulariteit, flexibiliteit en samenwerking centraal te stellen in deze overgang.

Dit rapport biedt inzicht in de circulaire transitie van de chemie- en brandstoffensector binnen het HIC. Drie waardeketens die als duurzame grondstoffen kunnen dienen worden uitgelicht: biomassa, circulaire plastics en restgassen. Daarnaast worden de randvoorwaarden geïdentificeerd die nodig zijn voor een succesvolle implementatie van deze grondstoffen. Verder schetst het rapport een overzicht van zowel de huidige brandstoffen- en chemie-industrie binnen het HIC als bestaande circulaire projecten.

Het HIC in cijfers

Het HIC is een sterk industrieel cluster met een grote brandstoffen- en chemiesector. Het is een van de grootste havens ter wereld met een goede diepzee connectie. Het cluster genereert ~6% van het Nederlandse BBP, maar is ook verantwoordelijk voor 20% van de Nederlandse uitstoot van broeikasgassen. Het Havenbedrijf Rotterdam heeft als doelstelling om versneld te verduurzamen en zal 35% van de Nederlandse CO₂-reductie doelstelling in 2030 kunnen realiseren, indien alle lopende projecten succesvol afgerond worden (Port of Rotterdam, 2022).

Het HIC is aangewezen als locatie voor de aanlanding van een groot windpark op zee, waardoor er wordt gewerkt aan een groot aanbod van groene energie. Onder andere hierdoor heeft het HIC ruime beschikbaarheid van duurzame elektriciteit. Deze is echter aanzienlijk duurder dan in de meeste buurlanden (E-Bridge, 2024). Duurzame productie en daarnaast circulariteit komen met een hogere kostprijs dan fossiele productie. Daarnaast neemt de circulaire industrie meer ruimte in dan de conventionele industrie, en de transitie vergt extra ruimte doordat het nieuwe systeem parallel aan het oude systeem wordt ontwikkeld. Dat terwijl er binnen het cluster maar beperkte ruimte beschikbaar is. Het is daarom essentieel dat het HIC de transitie gecoördineerd maakt, zodat het niet alleen verduurzaamt, maar ook het ondernemersklimaat voor de industrie aantrekkelijk houdt. Op deze manier behoudt het HIC zijn internationale concurrentiepositie en voorkomt het een weglekeffect.

Op basis van de meest recente MIDDEN database is een overzicht gecreëerd van de chemie- en brandstoffenproductie binnen het HIC, gebaseerd op data uit het jaar 2021. De overzichten van brandstoffen en chemische producten die in het HIC worden geproduceerd, zijn de eindproducten van een bedrijf. Producten die binnen het bedrijf verder verwerkt worden zijn dus niet meegenomen. Dit geeft inzicht in de duurzame alternatieve materialen waarmee de huidige grondstoffen vervangen moeten worden en de schaal grootte van de opgave per productgroep. Een belangrijke disclaimer is dat de cijfers inmiddels 4 jaar oud zijn en niet alle bedrijven zijn meegenomen in de database. In deze tijd is het HIC verder ontwikkeld en kan het totaalbeeld er anders uitzien. Wel geeft dit overzicht alsnog inzicht in de globale activiteiten in het HIC. De volledige cijfers staan in de bijlage.

Brandstoffen

Gebaseerd op de cijfers van 2021, wordt er in het HIC 58 Mt ruwe olie producten geproduceerd door vijf raffinaderijen. De totale productie bestaat voor 58% uit nafta, diesel, benzine, kerosine, en LPG. De andere 42% bestaat uit een mix van residuen en gasen die ontstaan uit de verschillende verwerkingsstappen, zoals bitumen, petroleum cokes, vacuüm destillaat en waterstofsulfide. De verhoudingen van eindproducten tussen de raffinaderijen lopen sterk uiteen. Dit komt onder andere door verschillende kwaliteiten van ruwe olie, de performance van de raffinage installaties en de flexibiliteit van de raffinaderijen.

Output	Hoeveelheid
Nafta	8737 (15%)
Diesel	10434 (18%)
Benzine	3706 (6%)
Kerosine	9713 (17%)
LPG	964 (2%)
Totaal	33554 (58%)

Tabel 1: Overzichtstafel van totale output aan brandstoffen en nafta geproduceerd in 2021 in de fossiele raffinaderijen uit de Rotterdamse haven

Biobrandstoffen en –oliën

Daarnaast wordt er op het moment al gebruik gemaakt van biomassa als grondstof. Het wordt voornamelijk geraffineerd tot biobrandstoffen en eetbare oliën. In de MIDDEN database wordt een totaal van 2700 kt aan biomassa verwerkt door Biopetrol Rotterdam (350kt koolzaad wordt verwerkt tot biodiesel), Cargill (100kt koolzaad en 900kt palmolie tot gemodificeerde oliën), Neste (1100kt afvaloliën wordt verwerkt tot biodiesel) en Sime Darby (114 kt sojabonen en 114 kt koolzaad tot gemodificeerde oliën). Hieronder staat een overzicht van de output van de belangrijkste producten die geproduceerd worden.

Product	Totale output van het HIC (kt)
Biodiesel	1260
Gemodificeerde palmolie	1013
Gemodificeerde koolzaadolie	156
Gemodificeerde sojaboonolie	56

Tabel 2: Overzicht van producten van een aantal Rotterdamse bioraffinaderijen in 2021 (MIDDEN data)

Daarnaast produceerde Abengoa 480 kt aan biobrandstoffen en produceerden Wilmar Edible Oils (~180 kt) en IOI Loders Croklaan ook eetbare oliën (Port of Rotterdam). Deze zijn niet meegenomen in de MIDDEN database.

Chemie

De chemische industrie heeft een meer diverse set aan eindproducten en productietechnologieën dan de brandstoffen industrie. Veel producten zijn halffabricaten die nog verwerkt worden tot andere producten, vaak buiten het HIC. De totale productie is 10262 kt per jaar. Het grootste deel van de chemische producten die in Rotterdam worden geproduceerd wordt uiteindelijk gebruikt voor plastics (5 113 kt, 53%). Verder worden er veel weekmakers, oplosmiddelen en andere additieven geproduceerd.

Petrochemische bedrijven binnen het HIC

In deze studie zijn alle bedrijven binnen het HIC geanalyseerd die werken met petrochemische producten, en vermeld staan in de MIDDEN database. Hieronder is een overzicht te zien van de bedrijven die geanalyseerd zijn.

Bedrijven in MIDDEN database	Bedrijven <u>NIET</u> in MIDDEN database
Cabot	Ducor Petrochemicals
Exxonmobil	Emerald Kalama Chemical
Lyondell-Bayer	Hexion
Lyondell Basell	Hunstman
Shell Moerdijk	Invista
Shell Pernis	Lucite
Shin-Etsu	Organik Kimya
	Caldic Chemicals
	Synres
	Westlake
	Ellba

Tabel 3: Overzicht van bedrijven die wel en niet meegenomen zijn in de MIDDEN database

Een groot deel van de bedrijven is niet in de MIDDEN database opgenomen, maar zijn wel onderdeel van het organische chemie cluster binnen het HIC. De totale jaarlijkse productie van alle petrochemische producten die niet is meegenomen in de MIDDEN database is 2290 kt (22%), gebaseerd op het *Facts and Figures* rapport van Port of Rotterdam.

Petrochemische producten binnen het HIC

De chemicaliën zijn in te delen in verschillende groepen en zijn in een overzicht gezet op basis van de productiehoeveelheden binnen het HIC. Hierbij zijn de producten die geproduceerd en verder verwerkt worden binnen een site niet meegerekend, dus enkel de producten die uit de fabriek gaan worden weergegeven. Opvallend is dat er weinig overlap is in de producten van verschillende fabrieken. De diversiteit is groot. Dit kan een signaal zijn dat de bedrijven concurrentie op dezelfde materialen proberen te vermijden. Dit is een interessant inzicht in de grondstof transitie omdat het belangrijk is om overmatige concurrentie op dezelfde grondstoffenbron te voorkomen. Samenwerking en onderlinge afstemming lijkt hierin dus mogelijk te zijn. De producten zijn hieronder opgesplitst in subcategorieën en gekwantificeerd op basis van de MIDDEN database.

- Monomeren en polymeren (55,7%)

Deze stoffen worden gebruikt voor de productie van kunststoffen, vezels of schuimen. Binnen het HIC werd er 5529 kt geproduceerd in 2021. Dit bestond voornamelijk uit styreen monomeer (46.3%) en propyleen oxide (23.0%).

- Additieven voor verf, hars, coatings, koelvloeistof, rubber en cosmetica (19,4%)

Deze groep bestaat uit alle resterende stoffen die in het HIC geproduceerd worden met een totale productie van 1926 kt, voornamelijk voor verf en coatings. De producten isobutaan (25.2%) en benzeen (23.2%) worden het meest geproduceerd.

- **Brandstofadditieven (18,2%)**

Stoffen die aan brandstoffen toegevoegd worden. Het voornaamste doel van deze stoffen is om de verbranding efficiëntie te verhogen. De totale productie van deze groep is 1806 kt en bestaat voornamelijk uit High Carbon Solvent (37%) en Tert Butyl Alcohol (33.2%).

- **Additieven voor polymeersynthese (6,6%)**

Stoffen die toegevoegd worden aan kunststoffen om ze bijvoorbeeld flexibeler of zachter te maken. Deze groep bestaat voornamelijk uit plasticizer (63.5%). De totale productie bestaat uit 661 kt.

Circulariteit binnen het HIC

Het Havenbedrijf Rotterdam heeft als ambitie dat 20% van het productievolume van brandstoffen en chemische producten in de haven in 2030 circulair geproduceerd wordt (Power2X, 2022). Alle biomassa projecten produceren 4.72 Mt, daarnaast 0.23 Mt aan plastic afval en 0.25 aan restgassen. Dit betekent dat het streven van 6 Mt op dit moment nog niet gehaald zal worden als alle huidige projecten doorgaan en geen additionele projecten gerealiseerd worden. De projecten zijn verder in dit rapport uitgesplitst per grondstof. Deze lijst is met de grootst mogelijke zorgvuldigheid samengesteld. Desondanks bestaat de mogelijkheid dat bepaalde projecten niet in de analyse zijn meegenomen.

Koolstofwaardeketen 1: biomassa als grondstof

Biomassa zal een essentiële koolstofbron worden en omvat een enorme verscheidenheid aan primaire materialen. De herkomst van de biobased grondstoffen is divers en ruwe grondstoffen hebben elk een bepaalde mate van verwerking nodig voordat het bruikbaar is in de chemie of brandstoffensector. Biomassa is op veel manieren inzetbaar en de vraag zal flink toenemen. Vanwege de beperkte beschikbaarheid is het belangrijk om biomassa zo efficiënt mogelijk in te zetten, door de verschillende bronnen, toepassingen en unieke eigenschappen optimaal te benutten.

Duurzaamheid van biomassa

Een belangrijke overweging in het gebruik van biomassa, die niet uit het oog verloren mag worden, is de milieuimpact van grootschalig gebruik van biomassa. Dit gaat voornamelijk over de impact op landgebruik, zoals ontbossing, biodiversiteit, competitie met voedselproductie en regeneratieve productie. De schaalgrootte van een biobased chemie en brandstoffen industrie kan grote impact hebben op het mondiale landgebruik. Het gebruik van biomassa komt dus met de verantwoordelijkheid om de duurzaamheid hiervan in acht te nemen.

Vormen van biomassa

Er zijn verschillende bronnen waar we de biomassa vandaan kunnen halen (van der Veen, 2017). De bronnen zijn onder te verdelen in 3 categorieën:

- Energie gewassen; o Koolhydraatrijke gewassen, zoals suikerbieten en suikerriet; o Olierijke gewassen, zoals oliepalmen en sojabonen;
- Biogene afval stromen, voornamelijk voedselresten, landbouwresiduen, houtafval en rioolslib;
- Aquatische biomassa, bestaande uit microalgen en zeewier.

Energiegewassen zijn ontzettend goed in te zetten maar hebben veel beschikbare grond nodig

Elke categorie heeft specifieke voor- en nadelen. Een probleem van het gebruik van energiegewassen is dat de productie vaak grond in beslag neemt die ook voor voedselproductie bruikbaar kan zijn. Gebruik maken van gebieden die niet geschikt zijn voor voedselproductie of vastgoedprojecten (teelt op marginale gronden) kan een oplossing bieden (Leguijt, 2020). Ook gebruik maken van tussengewassen kan de biomassa beschikbaarheid vergroten. Dit zijn gewassen die tussen het oogsten en planten van de hoofdgewassen geteeld kunnen worden. Deze gewassen hebben een grote energiedichtheid, zijn in grote zuivere hoeveelheden beschikbaar en hebben veel bruikbare onderdelen. Zo kan de suikerbiet naast suiker ook cellulose opleveren, wat kan fungeren als verdikkingsmiddel en stabilisator in bijvoorbeeld verf. Dit is een belangrijke koolstofbron en zal in de toekomst een grote rol spelen.

Zoveel mogelijk gebruik maken van de beschikbare afvalstromen

Afvalstromen kunnen sterk variëren in kwaliteit en kwantiteit. De meest gebruikte afvalstroom is vet- en olieachtige afval. Dit bestaat voor een groot deel uit gebruikt frituurvet en wordt breed ingezet binnen Europa. Binnen de EU wordt 8 keer zoveel gebruik gemaakt van deze grondstof als wat zelf wordt ingezameld. Dit wordt aangevuld door voorraden van onder andere China en Maleisië. Er zijn aanwijzingen dat deze grondstof bijgemengd wordt met palmolie, wat grote duurzaamheidsimplicaties heeft. Naar verwachting zal de vraag naar deze grondstof erg stijgen voor de productie van SAF. De vraag is of er genoeg beschikbaarheid zal zijn. Wel zou de EU de inzamelingshoeveelheid theoretisch kunnen verdubbelen.

Houtachtige biomassa wordt in Nederland voornamelijk gebruikt voor energieproductie. Naar verwachting wordt in 2030 4 Mt per jaar gebruikt voor energie. Binnen Nederland wordt tussen de 0,6 en 0,9 Mt per jaar geproduceerd (Leguijt, 2020). De bruikbaarheid van houtachtige biomassa zal dus sterk afhankelijk zijn van de hoeveelheid die beschikbaar gesteld kan worden voor de chemie- en brandstoffensector.

Aquatische biomassa zal in de toekomst een rol moeten spelen

Aquatische biomassa is op dit moment alleen op kleine schaal aanwezig maar kan een interessante koolstofbron worden in de toekomst. Er is veel ontwikkeling in het opschalen hiervan, omdat het geen land inneemt en veel bruikbare oliën en vetten bevat.

Op dit moment wordt er in het HIC voornamelijk gebruik gemaakt van de biobased grondstoffen palmolie (1.2 Mt), en dierlijk vet en plantaardige olie uit afval stromen (1.1Mt). Daarnaast wordt er veel gebruik gemaakt van raapolie (372 kt) en sojaolie (114 kt).

Technieken

De toepassing en verwerkingsmethode van biomassa is afhankelijk van de chemische structuur van de grondstoffen. Bruikbare structuren zijn koolhydraten (suikers, cellulose, hemicellulose), lignine, olie- en vetachtige structuren.

Pyrolyse

Een veelbelovend thermochemisch proces is pyrolyse. Hierbij wordt biomassa verhit onder hoge druk in een zuurstofarme omgeving. Dit levert een olieachtig product op, wat als drop-in chemicaliën gebruikt kan worden in de huidige raffinaderijen. Hiervoor moet additionele zwavel, stikstof en zuurstof wel verwijderd worden. Doordat het proces erg snel verloopt is het geschikt om veel biomassa te verwerken met beperkte ruimte. Ook is het in staat om heterogene stromen te verwerken. Een probleem bij deze techniek is het vormen van bio-char op de katalysatoren waardoor de efficiëntie aangetast wordt.

Vergassing

Wanneer de temperatuur nog verder verhoogd wordt, is er sprake van vergassing van de biomassa. Hierbij ontstaat syngas. Dit is een mengsel van H₂, CO, CO₂ en CH₄. Dit kan vervolgens verder gesyntheseerd worden tot methaan of langere koolwaterstoffen.

Fermentatie

Fermentatie is een biochemisch proces, waarin aerobe of anaerobe omstandigheden biomassa kan worden omgezet in diverse producten, maar voornamelijk ethanol en butanol. Ook kan het melkzuur opleveren, een belangrijke grondstof voor bioplastics. In anaerobe omstandigheden wordt dit proces vaak vergisting genoemd. Dit is een geschikte techniek wanneer er met natte biomassa gewerkt wordt, zoals rioolslib.

Esterificatie

Vet- en olieachtige afvalstromen, voornamelijk frituurvet, kunnen door middel van esterificatie omgezet worden tot biodiesel en met hydroprocessing tot kerosine. Deze afvalstroom is erg goed geschikt hiervoor en wordt op dit moment al op grote schaal gebruikt.

De technologische status van deze technieken in combinatie met de verschillende grondstoffen verschilt. Een aantal is al op commerciële schaal aanwezig, terwijl andere nog in de ontwikkelingsfase verkeren.

Retrofitting en werken met nieuwe bulkchemicaliën

Biomassa kan door middel van pyrolyse omgevormd worden tot drop in chemicaliën. Door retrofitting kunnen bestaande raffinaderijen met relatief lage investeringen gebruik maken van pyrolyse. Er is minimale voorbereiding nodig om de zuurgraad en stabiliteit te verbeteren, waarna het bijgemengd kan worden in bestaande installaties.

Belangrijk is dat niet alle biomassa als drop in chemicaliën zal fungeren. De verwerkingstechnieken van biomassa leveren namelijk een hoop andere producten op. Hieronder vallen methanol, ethanol en butanol bijvoorbeeld. Deze kunnen verwerkt worden tot andere chemicaliën, maar dit vereist dus andere verwerkingsstappen dan de huidige nafta.

Biomassa transporteren naar de haven

Daarnaast zal de biomassa grondstof in verschillende vormen aankomen in de Rotterdamse haven. Naar verwachting zal veel biomassa al deels verwerkt aankomen in de haven. Zo zal veel biomassa geïmporteerd worden en is het financieel en energetisch veel efficiënter om biomassa in het land van productie te verwerken tot bijvoorbeeld pyrolyse olie. Ook wordt een deel van de beschikbare biomassa binnen Nederland decentraal verwerkt tot halffabricaten. Dit gaat bijvoorbeeld om slib uit riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties en mest. Dit wordt op locatie gefermenteerd tot methaan. Er is echter ook veel onbenutte biomassa beschikbaar in vaste vorm. Dit gaat bijvoorbeeld over reststromen uit de agrarische sector. Dit zal voornamelijk afkomstig zijn uit Nederland en omliggende landen, wegens de hoge transportkosten van vaste biomassa. Dit onderstreept het belang van de ontwikkeling van bruikbare biomassa in eigen land.

Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten

In het industriecluster wordt 3.5 Mt per jaar aan bio-grondstoffen verwerkt, waarvan 1.3 Mt palmolie en 1.2 Mt gebruikte vetten en oliën. Het grootste deel wordt verwerkt tot biodiesel.

HVO, FAME en SAF

Viterra produceert biodiesel met een capaciteit van 400 kta uit raapolie en koolzaadolie. VARO gaat in samenwerking met Gunvor bio-nafta, bio-propaan en voornamelijk SAF produceren met een capaciteit van 350 kt per jaar uit rest oliën en vetten. Hiermee kunnen ze 7% leveren van het EU-mandaat in 2030. Ze focussen op flexibiliteit in hun grondstoffen en in hun eindproducten om in te kunnen spelen op markt veranderingen.

Shell bouwt een biobrandstoffenfabriek met een capaciteit van 820 kt per jaar op het gebied van Shell Pernis. De productie is gefocust op duurzame vliegtuigbrandstof en biodiesel. Er wordt gebruik gemaakt van dierlijke vetten en oliën. De bouw is op dit moment tijdelijk gepauzeerd en is verwacht om operationeel te zijn in 2030.

Neste produceert op dit moment SAF, biodiesel en bio LPG. Daarnaast investeert Neste in de bouw van een nieuwe bio raffinaderij voor de productie van SAF waardoor er naast de huidige 1.4 Mt capaciteit een additionele 1.3 Mt capaciteit ontstaat. Ook zij maken voornamelijk gebruik van gebruikte oliën en vetten.

Rioolslib

SPIE en C-green ontwikkelen een modulaire fabriek die rioolslib naar biobrandstof omvormt. Natte biomassa wordt omgezet in hydrochar. Hierbij wordt de uitstoot van methaangas voorkomen en door de gewichtsreductie wordt het transport efficiënter. REYM test op dit moment een pilot installatie. Uiteindelijk zou de modulaire fabriek 25 kt per jaar om kunnen zetten.

Opslag

Vopak breidt zijn opslagcapaciteit met 64.000 kubieke meter uit voor bioafvalproducten die verwerkt kunnen worden tot biobrandstof.

Cepsa gaat groene methanol opslaan in opslagfaciliteiten van Evos. Deze methanol is geproduceerd in Spanje met een capaciteit van 300 kt.

Randvoorwaarden

Ontwikkeling van stabiele en flexibele toevoerstromen

Een stabiele toevoer van biomassa is essentieel. Een aantal grondstoffen (zoals HVO en energiegewassen zoals palmolie en koolzaadolie) hebben al ontwikkelde markten met aanbieders en afnemers. Voor andere biomassastromen worden deze nog weinig benut, waardoor de logistieke ketens dus nog ontwikkeld moeten worden. Hieronder valt bijvoorbeeld biomassa van teelt op marginale gronden.

Het is hierbij belangrijk dat flexibiliteit in grondstofgebruik en –herkomst centraal staat zodat grondstoffen elkaar kunnen aanvullen, waardoor de levenszekerheid wordt vergroot (PBL, 2020). Het seizoenseffect kan gecompenseerd worden, wanneer er ook gebruik gemaakt wordt van biomassa die minder seizoen afhankelijk is, zoals rioolslib of gebruikt frituurvet. Ook kan flexibiliteit de kosten verlagen door marktschommelingen op te kunnen vangen. Bepaalde grondstoffen zullen in meer verschillende sectoren toepasbaar zijn en dus meer concurrentie kennen. Dit gaat met name over reststromen van gewassenteelt, die op dit moment gebruikt wordt voor veevoer. Het is belangrijk om waar mogelijk aan te sturen op het gebruiken van alle beschikbare biomassa binnen Nederland.

Voor zowel de chemie als de brandstoffen sector zal de vraag naar biomassa sterk toenemen. Dit zal het nationale aanbod overstijgen (Strengers, 2020). Hierdoor is het van strategisch belang voor de Nederlandse industrie om ook internationale stromen van biomassa aan te trekken.

Infrastructuuraanpassingen

De verwerking en het transport van biomassa stellen specifieke eisen aan de benodigde infrastructuur. Biomassa kan namelijk in vaste vorm binnenkomen, wat een verandering betekent ten opzichte van de huidige vloeibare en gasvormige grondstoffen. Dit vereist andere eisen aan de transportmiddelen. De opslag van biomassa vraagt om speciale eisen vanwege bijvoorbeeld de gevoeligheid voor vocht of temperatuur, wat leidt tot biologische afbraak. Er zijn klimaatbeheersingssystemen nodig om schimmelvorming, rotting en zelfontbranding te voorkomen, zoals ventilatie- en vochttafvoersystemen. Bulktransport van biomassa vereist grote opslagsilo's, evenals aangepaste docks en laad- en lossystemen, zoals nieuwe kranen, pompen en transportbanden.

Een belangrijke uitdaging is het integreren van biomassa in bestaande logistieke netwerken. De transport- en opslagfaciliteiten moeten flexibel genoeg zijn om verschillende soorten biomassa aan te kunnen, terwijl er tegelijkertijd wordt gestreefd naar efficiëntie en schaalbaarheid in de keten.

De huidige import en verwerking van agribulk kan als voorbeeld dienen voor de infrastructuur aanpassingen die nodig zijn voor de nieuwe grondstoffen. De verwachting is dat veel van de biomassa voorbewerkt geïmporteerd zal worden en dus voornamelijk als vloeistof en eventueel als gas binnenkomt. Ook dan zullen er aanpassingen nodig zijn. Zo kan de biomassa een hogere viscositeit, meer onzuiverheden en vaste deeltjes hebben dan aardolie. Dit kan mogelijk verwarmde tanks vereisen om de biomassa vloeibaar te houden en filtersystemen om verstoppingen te voorkomen.

Ontwikkelen van afzetmarkten voor duurdere primaire producten en nevenstromen

De achterblijvende ontwikkeling van afzetmarkten voor producten op basis van biomassa vormt een belangrijke belemmering voor de opschaling van productieprocessen. Veel potentiële afnemers zijn niet bereid om de meerprijs voor bio-based producten te betalen. Deze beperkte betalingsbereidheid vertraagt de groei van markten en beïnvloedt de snelheid waarmee biomassa kan worden ingezet als een volwaardig alternatief voor fossiele grondstoffen.

Naast primaire productiestromen biedt biomassa ook waardevolle nevenstromen, zoals vezelrijke restmaterialen of biologische residuen. Deze nevenstromen kunnen worden ingezet als bodemverbeteraar in de landbouw. Om deze stromen optimaal te benutten, is een geïntegreerde ketenbenadering nodig waarin de chemische industrie samenwerkt met andere sectoren. Het breed toepassen van biomassa en haar nevenstromen helpt niet alleen bij kostenbesparing, maar draagt ook bij aan een grotere circulaire efficiëntie.

Beleid voor biomassa met een focus op coördinatie, cascaderen, duurzaamheid en techniek

Biomassa wordt vaak nog toegepast voor energieopwekking, wat ten koste gaat van de hoogwaardige toepassingen die bijdragen aan daadwerkelijke circulariteit. Om biomassa op een circulaire en waardevolle manier in te zetten, is een meer gecoördineerd aanpak noodzakelijk. Dit kan worden gefaciliteerd door een nationaal coördinatiepunt, dat chemie, landbouw en energie met elkaar verbindt om verspilling te verminderen en circulariteit te bevorderen.

Een belangrijk beleidsdoel moet zijn het optimaliseren van cascadering. Wetgeving kan prioriteit geven aan het gebruik van biomassa in chemische toepassingen boven energieopwekking, bijvoorbeeld door belastingvoordelen of subsidies toe te kennen aan bedrijven die biomassa circulair inzetten. Ook is er noodzaak voor een duurzaamheidskader voor alle grondstoffen. Duidelijke richtlijnen zijn nodig om de duurzaamheid van biomassa te kunnen garanderen, met name op biomassa van buiten de EU. Tot slot kunnen snelle en eenvoudige vergunningsprocedures de weg vrijmaken voor innovatieve toepassingen en investeringen stimuleren, waardoor de transitie naar een circulaire economie wordt versneld.

Waardeketen 2: Plastic reststromen als grondstof

Plastic is een onmisbaar materiaal in onze samenleving, maar gemaakt uit fossiele grondstoffen brengt het aanzienlijke uitdagingen met zich mee op het gebied van duurzaamheid en milieu-impact. Een circulaire economie, waarin plastic volledig binnen het systeem blijft en hergebruikt wordt, is noodzakelijk. De Nederlandse transitieagenda (Ministerie van infrastructuur en milieu, 2018) benadrukt dit belang door de uitstoot van CO₂ tijdens de productie en de toenemende hoeveelheid plastic in het milieu te benoemen. Deze transitieagenda noemt vier ontwikkelingsrichtingen voor 2030:

- Preventie van gebruik
- Meer vraag en aanbod van hernieuwbare kunststoffen
- Betere kwaliteit van recyclelaat bereiken
- Strategische (keten)samenwerking

Toepassingen van verschillende plastics

Op dit moment bestaat het overgrote deel (94%) van plastics uit veelgebruikte polymeren zoals PP, PE, PS, PET en PVC. Deze plastics hebben verschillende toepassingen en belanden in verschillende afvalstromen.

- Polypropyleen (PP) wordt veel voor verpakkingen gebruikt, zoals folie, flessendoppen, textielvezels en auto-onderdelen. De scheiding van PP wordt bemoeilijkt doordat het vaak verwerkt is in composietmaterialen – materiaal dat is opgebouwd uit meerdere andere plastic componenten.
- Polyethyleen (PE) is onder te verdelen in high density polyethyleen (HDPE) en low density polyethyleen (LDPE). HDPE, 'hard plastic', wordt onder andere gebruikt in melkflessen, flessen voor reinigingsmiddelen, kratten en leidingen, terwijl LDPE, 'zacht plastic', wordt gebruikt voor plastic zakken, folie en verpakkingsmaterialen. Bepaalde toepassingen, zoals folie, zijn minder makkelijk recyclebaar door vervuiling met bijvoorbeeld voedselresten en de slechte verhouding tussen volume en gewicht.
- Polystyreen (PS) wordt veel gebruikt in wegwerpverpakkingen en als piepschuim (EPS) voor isolatie en bescherming. PS wordt niet apart ingezameld en is door zijn lichte gewicht vaak lastig mechanisch te recyclen. Piepschuim wordt doordat het een aparte afvalstroom is vanuit de bouw en logistiek voor een groot deel apart ingezameld. Echter, het gebruik van PS staat onder druk vanwege regelgeving (voornamelijk door de Single Use Plastics-richtlijn van de EU (European Commission, 2019)) en de opkomst van alternatieven.
- Polyethyleentereftalaat (PET) wordt veel gebruikt voor drankflessen, voedselverpakkingen en als vezels voor textiel. PET-flessen worden in Nederland via statiegeldsystemen ingezameld, wat leidt tot relatief zuivere stromen. Het gebruik van recycle PET neemt hierdoor toe.
- Polyvinylchloride (PVC) wordt veel toegepast in de bouwsector en in medische producten. Doordat het voornamelijk in de bouw gebruikt wordt, levert het redelijk zuivere afvalstromen op. Echter, het is lastig te recyclen vanwege de aanwezigheid van additieven, zoals weekmakers. Deze kunnen tijdens het recyclingsproces afbreken waardoor de materiaaleigenschappen van PVC veranderen. PVC blijft lang bruikbaar en de totale hoeveelheid PVC in gebruik neemt toe.

Plastic reststromen

De potentie van plastic reststromen als grondstof voor de chemische industrie is afhankelijk van de schaal waarop materiaalstromen teruggewonnen kunnen worden voor verdere verwerking. In Nederland wordt jaarlijks circa 1,7 Mt plastic afval geproduceerd waarvan op dit moment 644 kt beschikbaar is voor recycling. Hiervan wordt 523 kt daadwerkelijk gerecycled. De rest wordt verbrand met energietेरugwinning (KPMG, 2023). Ongeveer 200 kt recyclelaat wordt jaarlijks gebruikt. Dit gebeurt voornamelijk in de bouw en landbouw.

Het sorteren van plastic levert vaak drie typen stromen op: zuivere stromen, gemengde folie en gemend plastic.

Het nasorteren van restafval van bedrijven zal de meeste groei van beschikbaar plastic afval realiseren (KPMG, 2023).

In de tabel hieronder wordt de hoeveelheid plastic productie in 7 sectoren uitgesplitst met de percentages van recycling en het gebruik van recycalaat in productie.

Plastic sector	Consumptie (kt)	Recycled	Recycalaat in productie
Verpakking	621 (30%)	65%	6%
Bouw & constructie	600 (29%)	26%	19%
Landbouw	83 (4%)	41%	23%
Elektronica	145 (7%)	19%	3%
Automotive	165 (8%)	22%	3%
Huishouden	104 (5%)	3%	2%
Overige	352 (17%)	3%	5%

Tabel 4: Plastic productie, recycling en recycalaat in productie uitgesplitst per sector binnen Nederland (PlasticsEurope, 2022)

Er zal in 2030 een tekort aan beschikbaar plastic afval ontstaan van 1.2 Mt om in te zetten als grondstof (KPMG, 2023). Dit komt doordat de recycling capaciteit dan groter zal zijn dan plastic afval dat beschikbaar gemaakt kan worden. De Port of Rotterdam heeft de ambitie om 2 tot 4 Mt aan kunststoffen in te zamelen en te recycleren voor verwerking tot nafta in 2030. Meer plastic afval importeren of betere sortering van restafval zou dit ontstane tekort tegen kunnen gaan. Binnen Europa wordt er jaarlijks ongeveer 50 Mt aan plastics geproduceerd. Bijna 30 Mt plastic afval wordt ingezameld en verwerkt. Hiervan wordt 10.2 Mt gerecycled, maar waarvan 6.9 Mt eindigt op stortplaatsen en 12.5 Mt wordt verbrand met energierugwinning (PlasticsEurope, 2021). Dit laat zien dat er veel onbenut plastic afval beschikbaar is, maar dat het gebruik ervan afhankelijk is van de ontwikkeling van de Europese plastic recycling industrie.

Mechanische en chemische recycling

Ingezamelde en gesorteerde plastic reststromen kunnen door middel van mechanische en chemische recycling opnieuw in de keten worden gebracht. Beide technieken zijn noodzakelijk voor het volledig sluiten van de keten.

Mechanische recycling is op dit moment de meest toegepaste methode om plastic afval opnieuw te gebruiken. Hierbij wordt het plastic gesorteerd, gewassen en verwerkt tot nieuwe producten. Het is een efficiënte methode met minder verwerkingsstappen en een lager energieverbruik dan chemische recycling. Echter, de bruikbaarheid van de reststromen en de kwaliteit van het recycalaat worden sterk beïnvloed door:

- Contaminatie: Plastic afval bevat vaak verontreinigingen zoals stikstof, zuurstof, halogenen en metalen. Deze kunnen ervoor zorgen dat de materiaaleigenschappen of -samenstelling veranderen tijdens de verwerking van het afval. Daarnaast is het afval vaak vervuild met ander afval, zoals voedsel resten.
- Complexe materialen: Multi-layer verpakkingen en composietmaterialen (zoals koolstofvezelversterkte kunststoffen) zijn moeilijk te scheiden en mechanische te recycleren, waardoor een groot deel van het afvalplastic niet bruikbaar is voor recycalaat.
- Onvoldoende afvalsortering: Door betere bronsortering en verbeterde scheidingstechnieken in nasortering kan een groter deel van het plastic afval hergebruikt worden.

Chemische recycling biedt een waardevolle aanvulling op mechanische recycling, vooral voor plastics die niet mechanisch gerecycled kunnen worden door contaminatie of complexe samenstellingen (Neste, 2024). Hierbij worden kunststoffen op moleculair niveau opgebroken, waardoor ze opnieuw kunnen dienen als grondstof voor nieuwe producten. Door middel van chemische recycling is het mogelijk om de plasticresten volledig te sluiten, doordat een groter deel van de plasticreststromen gebruikt kan worden. Een bijkomend voordeel van chemische recycling is dat het ook andere koolstofrijke bronnen, zoals organisch afval, kan verwerken door middel van dezelfde technieken.

Belangrijke technieken binnen chemische recycling zijn:

- Pyrolyse: Omvorming van plastics tot pyrolyse olie, gas of nafta door verhitting zonder zuurstof. De techniek werkt met een gemengde input. De output kan opnieuw ingezet worden als grondstof voor kunststoffen of voor brandstoffen.
- Vergassing: Afbraak van plastic onder hoge temperatuur en druk tot synthese-gas. Ook deze techniek werkt met een brede input. Deze bestaat vaak voor slechts 20% uit kunststoffen, aangevuld met biomassa. De output kan als grondstof voor kunststoffen en brandstoffen ingezet worden. De output is syngas of methanol die weer verder verwerkt kan worden. Bij vergassing wordt er vaak biomassa bijgemengd om aan de benodigde energetische waarde te komen (KDV, 2018).

- **Depolymerisatie:** Omzetting van polymeren in hun oorspronkelijke monomeren, waardoor ze direct kunnen worden hergebruikt in de polymeerproductie. De techniek is geschikt voor gemengde plasticstromen. Het proces maakt gebruik van hitte, chemische oplosmiddelen of enzymatische reacties. De techniek levert hoogwaardige output zonder kwaliteitsverlies en vereist minimale bewerking om opnieuw kunststofgranulaat te produceren.
- **Solvolyse:** Oplossen van kunststoffen om zuivere polymeren terug te winnen. Door gebruik van verschillende oplosmiddelen kunnen de verschillende plastics van elkaar gescheiden worden. Er zijn wel hoge eisen aan de samenstelling van de input. Het is op de lange termijn goed geschikt om bijvoorbeeld multilayer verpakkingen te verwerken.

Pyrolyse en vergassing hebben op dit moment de hoogste potentie om tegen 2030 grootschalige recycling mogelijk te maken door de technische en economische haalbaarheid (KDV, 2018). Deze sluiten goed aan op de huidige infrastructuur voor polymeerproductie en dat biedt kansen voor hoogwaardige recycling. Bij depolymerisatie en solvolyse wordt het plastic minder afgebroken. Dit leidt tot minder verwerkingsstappen en energiebesparing.

De producten van plastic afval recycling kunnen toegepast worden in de productie van nieuwe plastics en basischemicaliën, maar ook als brandstoffen. Echter, energetisch en daardoor economisch loont het niet om circulair plastic in te zetten als brandstof.

Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten

Er zijn veel projecten in ontwikkeling in het HIC die focussen op het vergroten van de bruikbaarheid van plastic. Er wordt in 4 projecten in totaal 40 kt aan pyrolyse capaciteit, 21 kt depolymerisatie capaciteit en 90 kt aan vergassing capaciteit ontwikkeld. Daarbovenop wordt er gewerkt aan verbeterde scheiding en opslag.

Pyrolyse en depolymerisatie

Pryme recyclet plastic afval door middel van pyrolyse. De fabriek heeft een uiteindelijke productiecapaciteit van 40 kt per jaar en is sinds begin 2024 stapsgewijs de productie aan het verhogen.

Xcycle gaat door middel van depolymerisatie niet-mechanisch recyclebaar plastic afval recycleren. De fabriek is naar verwachting in 2026 operationeel en zal een capaciteit hebben van 21 kt.

Shell heeft in Moerdijk een pyrolyse upgrader installatie gebouwd die geopend is in 2024, waar ruwe pyrolyse olie ingaat en wordt schoongemaakt zodat het product als drop-in chemicaliën direct de kraker in kan. Dit is de laatste stap voordat het plastic afval omgezet kan worden in bruikbare chemicaliën.

Vergassing

Enerkem gaat samen met Shell plastic afval inzetten voor de productie van SAF. Deze fabriek heeft een capaciteit van 80 kt per jaar. Enerkem zal syngas produceren uit het afval, wat door middel van Shell's Fisher Tropsch techniek tot SAF wordt verwerkt. Oorspronkelijk was dit project bedoeld om afval om te zetten in chemicaliën, maar door marktomstandigheden en stimulerend beleid voor duurzame brandstof voor de vliegindustrie is dit aangepast. Gebaseerd op de laatste informatie uit 2021, is de verwachting dat het operationeel gaat zijn in 2026.

Gidara Energy bouwt een nieuwe fabriek genaamd Advanced Methanol Rotterdam, identiek aan de fabriek van Gidara in Amsterdam. Door middel van hoge temperatuur vergassingstechnologie produceert het 90 kt methanol per jaar uit 360 kt niet recyclebaar afval. De verwachting is dat het in 2025 operationeel is.

Sortering en opslag

N+P Group is gespecialiseerd in de productie en levering van afval gebaseerde alternatieve materialen voor diverse industrieën. Het zet plastic afval om tot waardevolle alternatieve grond- en brandstoffen.

Ook de opslagsector past zich aan op de ontwikkelingen in de plasticrecycling. Bijvoorbeeld Tepsa, die de tankopslag gaat vervangen met geavanceerde aggregatietanks. In samenwerking met Neste zullen vloeibare plastics opgeslagen worden voor export naar Finland.

Randvoorwaarden

Er zijn zes belangrijke randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden om een succesvolle transitie naar een circulair systeem te realiseren. Hieronder vallen het verbeteren van afvalbeschikbaarheid en inzameling, technologische innovatie, betere product design, ontwikkelen van marktvraag naar recyclelaar, infrastructuur en samenwerking.

Verbeteren van afvalbeschikbaarheid en inzameling

Een groot deel van het plastic afval wordt verbrand in plaats van gerecycled. Aangezien de recycling capaciteit in Nederland de komende jaren zal toenemen, is het cruciaal om voldoende recyclebaar plastic afval beschikbaar te stellen. Alleen zo kunnen bedrijven hun capaciteit optimaal benutten (KPMG, 2023).

Efficiënte afvalscheiding

Een verbeterde sorteringstechnologie en efficiëntere afvalscheiding aan de bron zijn essentieel om de recycling van plastic te optimaliseren. Gescheiden inzameling van plastic afval kan de recyclingopbrengst aanzienlijk verhogen. In sommige gevallen kan dit zelfs leiden tot een factor 13 meer gerecycled materiaal (Plastics Europe, 2023). Dit benadrukt de noodzaak om de sorteercapaciteit verder uit te breiden. Effectieve vermalings- en schoonmaakprocedures, gecombineerd met flexibele en modulaire processen op basis van AI en machine learning, bieden nieuwe kansen voor optimalisatie (ISPT). Daarnaast kunnen innovatieve technieken zoals vergassing en solvolyse additieven en kleurstoffen scheiden, wat resulteert in schonere afvalstromen en een hogere kwaliteit gerecycled plastic.

Consumentenbewustzijn

Consumentenbewustzijn speelt een cruciale rol in het vergroten van beschikbaar plastic reststroom. Vaak wordt plastic afval verkeerd gescheiden, waardoor het in afvalstromen terechtkomt waar recycling niet langer mogelijk is. Educatie en voorlichtingscampagnes kunnen consumenten helpen beter inzicht te krijgen in het belang van correcte afvalscheiding en hen motiveren om actief bij te dragen aan een circulair systeem. Dit kan onjuiste afvalscheiding verminderen en de effectiviteit van recycling verbeteren.

Importeren van afval

Om de benodigde schaalgrootte voor recyclebaar afval te bereiken, kan het noodzakelijk zijn om importmogelijkheden te verruimen. Leveringszekerheid speelt hierbij een cruciale rol, vooral bij technieken waarbij het proces minder makkelijk versneld of vertraagd kan worden, zoals solvolyse en depolymerisatie. Een stabiele aanvoer van geschikt afvalmateriaal is essentieel om deze geavanceerde recyclingmethoden effectief te laten werken.

Technologische innovatie

Om knelpunten binnen de plasticrecyclingsector te doorbreken, is technologische innovatie essentieel. Een van de grootste uitdagingen is het verkleinen van het kwaliteitsverschil tussen virgin plastics en gerecyclede plastics (ISPT, 2021). Dit is cruciaal om gerecycled materiaal breder inzetbaar te maken en de vraag ernaar te vergroten.

Vergroten van sorteer-efficiëntie

Daarnaast is de sorteer-efficiëntie momenteel laag door gemengde afvalstromen die vaak vervuild zijn met voedselresten, chemicaliën of andere materialen. Dit bemoeilijkt het recyclen en verlaagt de kwaliteit van het eindproduct. Verdere technologische vooruitgang is nodig om deze vervuiling effectiever te verwijderen en de recyclingopbrengst te verbeteren.

Omgaan met complexe samenstellingen

Ook de complexe samenstelling van materialen vormt een uitdaging. Multi-layer verpakkingen, composietmaterialen en de aanwezigheid van additieven en kleurstoffen maken het lastig om hoogwaardige recyclaten te produceren. Momenteel is gerecycled plastic niet altijd beschikbaar in elke kleur of transparantie, wat de toepasbaarheid ervan beperkt (Stichting afvalfonds, 2020).

Verlagen van operationele kosten

Een ander knelpunt zijn de hoge operationele kosten van chemische recyclingstechnieken, waarvan energieverbruik een aanzienlijk aandeel uitmaakt. Efficiëntere en duurzamere processen zijn nodig om deze kosten te verlagen en de economische haalbaarheid van chemische recycling te verbeteren.

Ontwikkelen van afzetmarkten voor recycalaat

De marktvraag naar producten gemaakt van gerecyclede materialen blijft achter, voornamelijk door het prijsverschil tussen virgin plastics en gerecycled plastic. De lage prijs van virgin plastics wordt gedreven door de combinatie van lage olieprijsen en schaalvoordelen binnen de petrochemische sector.

Voor gerecycled plastic is de situatie anders. De afzetmarkten voor gerecycled materiaal zijn nog onvoldoende ontwikkeld (Partners for innovation, 2021). Bovendien is de kwaliteit van mechanisch gerecycled plastic vaak lager dan die van virgin plastics, wat de bereidheid van bedrijven om gerecycled plastic te gebruiken verder vermindert. Volgens een enquête van de European Plastics Converters (EUPC, 2019) geeft 40% van de bedrijven die geen gerecycled plastic gebruiken aan dat de kwaliteit van het materiaal te laag is om het in hun productieprocessen te integreren. Het is daarom belangrijk dat producenten anders omgaan met recycalaat door bijvoorbeeld hun producteisen te evalueren (Stichting afvalfonds, 2021). Daarnaast is gerecycled plastic vaak minder bekend bij afnemers, wat de adoptie bemoeilijkt.

Deze factoren zorgen voor een achterblijvende marktvraag, wat de groei van een duurzame kunststofmarkt vertraagt en de kans op schaalvoordelen verkleint.

Circulair product ontwerp

Producten moeten zo ontworpen worden dat ze eenvoudig te recyclen zijn. Dit betekent minder gebruik van complexe, multi-layer materialen, en in plaats daarvan meer gebruik van monomaterialen en makkelijk scheidbare productonderdelen. Contaminanten die de recycalaat kwaliteit beïnvloeden moeten geminimaliseerd worden en makkelijk scheidbaar zijn (ISPT, 2021). In een enquête van EUPC (2019), geeft 49% van de bedrijven die geen gerecycled plastic gebruik dat de eigen specificaties van hun product het gebruik van recycalaat niet toe laten.

Om de overgang naar een circulaire economie te bevorderen, is het essentieel dat het ontwerp van producten zowel gericht is op de mogelijkheid om gerecycled materiaal te gebruiken als op de geschiktheid van het plastic voor recycling.

Infrastructuraanpassingen voor plastics

Afhankelijk van het type kunststof en de fase in de keten waarin het zich bevindt, moeten verschillende infrastructuren worden opgezet. Gescheiden opslag is cruciaal, omdat vervuiling of vermenging van plasticsoorten het hergebruik en recyclingproces aanzienlijk bemoeilijkt. Opslaghallen moeten compartimenten bevatten die zijn aangepast aan de specifieke vereisten van de verschillende soorten plastic. De infrastructuur voor plastic afval moet rekening houden met het volledige traject, van inzameling en opslag tot verwerking. Terminals moeten flexibel zijn ingericht om zowel bulkplastic als kleinere fracties te verwerken. Plastic afval neemt veel ruimte in. Dit komt doordat er veel lucht opgeslagen wordt voordat het in balen wordt samengedrukt. Voor transport moeten schepen, vrachtwagens en treinen worden aangepast om grote hoeveelheden plastic veilig en efficiënt te verplaatsen. Door plastic afval te verwerken tot nieuwe producten zal het aantal logistieke bewegingen vergroten, doordat het sluiten van de keten extra verwerkingsstappen met zich meebrengt. Daarnaast is het belangrijk om voorbereid te zijn op verdere diversificatie van plastics in de keten, inclusief nieuwe, circulaire kunststoffen die ontstaan tijdens de transitie.

Beleid voor plastic afval gericht op verplichte bijmenging, productontwerp en techniek

De recycling- en chemische industrie staan voor aanzienlijke uitdagingen die de overgang naar circulaire kunststofketens belemmeren. De genoemde obstakels zorgen ervoor dat gerecycled plastic momenteel niet op grote schaal kan concurreren met virgin materialen. Om deze situatie te veranderen en de juiste richting in te slaan, moet beleid niet alleen gericht zijn op het vervangen van grondstoffen, maar ook op het creëren van een volledig circulair systeem. Dit is essentieel om de ontwikkeling van circulaire kunststofketens mogelijk te maken.

Stimuleren van marktvraag naar gerecycled plastic

Het is van groot belang om de marktvraag naar gerecyclede materialen te stimuleren (KDV, 2018). Een effectieve maatregel is het verplicht stellen van een minimumpercentage gerecycled materiaal in plastic producten, zowel op EU-niveau (zoals al wordt gedaan voor brandstoffen via RED III en (Re)FuelEU) als op nationaal niveau, door het invoeren van een realistisch groeipad. Dit biedt recyclingbedrijven zekerheid over de afzet en stimuleert zo schaalvergroting. De

invoering van de Nationale Circulaire Plastic Norm (NCPN), die ingrijpt op strategische punten in de keten en wordt gecombineerd met financiële stimulansen in plaats van belastingen, kan bedrijven die de EU-doelstellingen overtreffen een concurrentievoordeel bieden. Dit zorgt ervoor dat de markt sneller kan groeien. Stimuleringsubsidies moeten specifiek gericht zijn op veelbelovende technieken die bijdragen aan grondstoffenbehoud en milieuwinst (KDV, 2018).

Harmonisatie van Regelgeving rond 'Einde Afval'

Beleid moet ook gericht zijn op het harmoniseren van de regelgeving rondom de 'einde-afval'-status. Grondstoffen moeten pas als afval worden behandeld wanneer ze geen nuttige toepassing meer hebben. Dit voorkomt een ongelijk speelveld tussen primaire grondstoffen en afvalstoffen. De huidige regelgeving is vaak onduidelijk en kan in vergelijkbare situaties tot verschillende uitkomsten leiden. Een onafhankelijke grondstoffenautoriteit, met de juiste kennis en bevoegdheden om grondstofverklaringen voor hergebruik af te geven, kan een oplossing bieden voor de huidige complexe regelgeving op zowel nationaal als internationaal niveau.

Aanpak van Stoorstoffen en Zorgwekkende Stoffen

De aanwezigheid van potentieel zorgwekkende stoffen en andere verontreinigingen in reststromen bemoeilijkt het hergebruik van plastic. Deze stoffen kunnen bijvoorbeeld aanwezig zijn in oplosmiddelen of basismaterialen zoals vinylchloride, maar ook in de vervuilingen die ontstaan door de toepassing van het materiaal. Beleidsmaatregelen op nationaal en Europees niveau richten zich momenteel op substitutie van schadelijke stoffen, de ontwikkeling van nieuwe reinigingstechnieken en aanpassingen in productontwerpen. Het is essentieel dat dit beleid wordt ontwikkeld met oog voor de gehele keten en dat er een gelijk speelveld wordt gecreëerd ten opzichte van virgin materialen, om de circulaire kunststofketens daadwerkelijk te stimuleren.

Waardeketen 3: Restgassen als grondstof

Het gebruik van restgassen speelt een cruciale rol in de transitie naar een circulair koolstofsysteem. Door restgassen die vrijkomen tijdens productieprocessen toe te passen als grondstof voor de productie van economisch hoogwaardige producten, wordt uitstoot teruggedrongen en de circulaire keten gesloten. De inzet van restgassen zal nodig zijn als duurzame koolstofbron, doordat verwacht wordt dat de koolstofbehoefte groter zal zijn dan wat realistisch beschikbaar is aan circulaire plastics en biomassa. Deze restgassen bestaan uit een gasmengsel van CO₂, H₂ en korte koolwaterstoffen, zoals methaan, ethaan en propaan. Op dit moment wordt CO₂ voornamelijk uitgestoten, wordt waterstof gebruikt in het hydrogenatieproces van brandstoffen en worden korte koolwaterstoffen voornamelijk als brandstof gebruikt. CO₂ kan naast afvangen bij industrieprocessen ook direct afgevangen worden uit de lucht. Daarnaast bestaan de restgasmengsels uit ongewenste of milieuschadelijke gassen die beperkte toepassingen hebben in de brandstoffen en chemische industrie, namelijk zwavel- en stikstofverbindingen. Stikstofoxiden kunnen toegepast worden in de productie van salpeterzuur en als oxidatiemiddel. Zwaveloxiden kunnen in zwavelzuurproductie toegepast worden, zoals in kunstmestproductie en batterij productie.

Ontstaan van restgassen uit de huidige en toekomstige grondstoffen

Over het algemeen ontstaan de huidige restgassen tijdens het verwerken van fossiele grondstoffen. Ze ontstaan in verschillende stappen in het verwerkingsproces, zoals bij het kraken, reformen, hydrotreaten, destillatie en in cokers. Momenteel worden de korte koolwaterstoffen voornamelijk ingezet in thermische processen als brandstof voor procesunits zoals ketels en ovens of voor het opwekken van stoom en elektriciteit via warmtekrachtkoppelingseenheden (WKK's). Wanneer deze procesunits geëlektrificeerd worden of waterstof als brandstof gaan gebruiken, zullen deze restgassen niet meer nodig zijn als brandstof. Hierdoor is het mogelijk om deze restgassen te gebruiken voor synthese tot hoogwaardige producten (De Buck, 2013).

Het gebruik van biomassa en plastic reststromen zal de samenstelling van de restgassen redelijk gelijk houden, maar zal in een andere verhouding van restgassen resulteren. De gassen die uitgestoten worden zullen afhangen van de verwerkingsstappen die de grondstof moet doorlopen. Pyrolyse olie van plastic reststroom of biomassa zal vergelijkbare stappen doorlopen in een raffinaderij als aardolie en dus vergelijkbare restgassen uitstoot hebben. De uitstoot van plastic reststromen die met een andere recycling techniek verwerkt worden, verschilt wel met de huidige uitstoot van plastic productie.

Restgasmengsels reinigen en scheiden

Helaas worden deze restgassen niet los van elkaar uitgestoten maar in een mix. Daarnaast is het van belang het mengsel te reinigen van vaste stofdeeltjes en te scheiden van ongewenste gassen, zoals stikstof- en zwavelderivaten. Dit gebeurt nu al om de uitstoot van deze zorgstoffen te minimaliseren om negatieve impact op het milieu te voorkomen. Een doel hierbij is het verkrijgen van een zuivere stroom van een gas of combinatie van gassen zonder dat de kosten te hoog worden. De procestechnieken voor de toepassing van restgassen werken daarnaast ook structureel beter door zuivere stromen van gassen.

Het scheiden van de gassen vormen een grote kostenpost in de Carbon Capture Utilisation (CCU)-waardeketen, waar koolstofreststromen gebruikt worden als grondstof. De kosten van scheiden en afvangen worden gedreven door het fabrieksontwerp (hoeveel afvangeenheden), energieprijzen, emissie volumes, temperatuur en druk van het restgassenmengsel, en de aanwezigheid van verontreinigende stoffen.

Zwavelverbindingen worden meestal verwijderd door middel van natte of droge gaswassing. Wetscrubbers gebruiken een vloeistof (zoals natriumhydroxide of kalk) om zwavelverbindingen te binden en om te zetten in bruikbare producten zoals gips. Droge sorptiemethoden, zoals het gebruik van actieve kool of natriumbicarbonaat, kunnen eveneens SO₂ absorberen.

Stikstofoxiden (NO_x) worden gereduceerd via selectieve katalytische reductie (SCR) of selectieve nietkatalytische reductie (SNCR). Bij SCR wordt ammoniak of ureum gebruikt in combinatie met een katalysator om NO_x om te zetten in stikstof en water. SNCR werkt op hogere temperaturen en kan zonder katalysator NO_x omzetten in stikstof en water.

Andere verontreinigingen, zoals fijnstof en zware metalen, worden gefilterd via elektrostatische precipitatoren en cyclonen. Elektrostatische precipitatoren laden de deeltjes elektrostatisch op en vangen ze af op geladen platen. Cyclonen maken gebruik van centrifugale krachten om vaste stofdeeltjes uit de gasstroom te scheiden.

Daarnaast is het mogelijk om de bruikbare koolstofhoudende restgassen te scheiden door middel van adsorptie, cryogene scheiding en membraanfiltratie. Adsorptie is een techniek die gassen scheidt door fysische of chemische interacties op het oppervlak van een vaste stof, zoals actieve kool. Het is zeer selectief en daardoor geschikt om lage concentraties te filteren. Het is echter minder geschikt voor grote gasvolumes doordat de stof verzadigd raakt en vervangen moet worden.

Cryogene zuivering koelt de restgassenmix af totdat de gassen vloeibaar worden. Door verschillende condensatietemperaturen kunnen de gassen gescheiden worden. Het kan gebruikt worden om bijvoorbeeld methaan en ethaan te scheiden. Het kan zeer zuivere gassen opleveren maar het heeft een erg hoge energiebehoefte.

Membraanfiltratie scheidt gassen op basis van molecuulgrootte en permeabiliteit. Het is energiezuiniger dan cryogene scheiding maar het is lastiger om een hoge zuiverheid te krijgen.

Restgassen kunnen direct de stoomkraker in of gevormd worden tot syngas en methanol

Nadat de restgassen voldoende gescheiden zijn van elkaar, kunnen ze op verschillende manieren weer ingezet worden. Ethaan en propaan kunnen bijgemengd worden in bestaande stoomkrakers als grondstof naast nafta. Ethaan zou zelfs kosten-efficiënter zijn dan nafta voor de productie van ethyleen. Stoomkrakers kunnen over het algemeen een grote variatie van koolwaterstoffen verwerken, hierdoor zijn de eisen aan de zuiverheid van de gassen lager. Hierdoor is het niet noodzakelijk om ethaan en propaan gescheiden aan te leveren. Wel is het belangrijk dat de andere restgassen hieruit gescheiden worden, omdat de aanwezigheid van deze gassen de efficiëntie kan aantasten en de vorming van ongewenste bijproducten, zoals coke, kan vergroten.

Methaan en CO₂ vereisen meer bewerking voordat de gassen omgevormd zijn tot bruikbare grondstof voor de chemie. Afhankelijk van de techniek kan dit syngas of methanol opleveren. Syngas wordt door de meeste technieken geproduceerd. Dit is een mengsel van waterstof en koolmonoxide. Dit gasmengsel kan gesynthetiseerd worden tot lange koolwaterstoffen door middel van hoge temperatuur, druk en een metalen katalysator in het Fischer-Tropsch proces. Door deze drie factoren te veranderen kunnen de eindproducten aangepast worden. Door directe methanolproductie door middel van methaan, elektrochemische reductie of hydrogenatie kunnen CO₂ en methaan omgezet worden in methanol. Dit is een van de meest gebruikte grondstoffen in de chemische industrie. Het wordt gebruikt als basischemicaliën in de productie van bijvoorbeeld formaldehyde of azijnzuur. Methanol-to-olefines (MTO) en methanol-to-gasoline (MTG) zijn bekende processen die al in de praktijk toegepast worden om langere koolwaterstofketens te vormen.

Technieken voor valorisatie van CO₂

De transformatietechnieken van CO₂ zijn te groeperen in biologische en chemische transformatie, gebaseerd op Kamkeng (2020). Deze zijn van toepassing voor zowel CO₂ die gefilterd is uit industriële restgassen als CO₂ die direct afgevangen is uit de lucht.

Biologische transformatie bestaat uit fotosynthetische fixatie en non-fotosynthetische fixatie. Fotosynthetische fixatie is het vastleggen van CO₂ door groei van planten. De groei van algen is hierbij het meest veelbelovend. Dit gebeurt in fotobioreactors of open pond systemen. Non-fotosynthetische fixatie (TRL 3 - 5) gebruikt micro-organismen en een hoge energie input om CO₂ vast te leggen in zowel aerobe als anaerobe condities. Zo produceren methanogenen bijvoorbeeld methaan als bijproduct van hun energiemetabolisme.

Chemische transformatie bestaat uit 7 subcategorieën.

Reformatie (TRL 4-6) is een proces waarbij een koolstof-houdend molecuul verhit wordt met een metaalgebaseerde katalysator om syngas te produceren (een mix van CO en H₂). Dit gebeurt voornamelijk met methaan. Er zijn drie types methaan reformatie die gebruik maken van CO₂, namelijk dry-reforming, bi-reforming, en oxyCO₂ reforming. Deze reacties leveren verschillende verhoudingen van CO en H₂ op. Het grootste obstakel hierbij is de vorming van koolstof depositie op de katalysator die de werking ervan blokkeert.

Hydrogenatie (TRL 2-9) is het toevoegen van H₂ aan CO₂. Het toevoegen van H₂ kan door middel van hitte (thermal hydrogenatie), een combinatie van licht en hitte (fotothermische hydrogenatie), en plasma (plasma hydrogenatie). Het verkrijgen van betaalbare, groene waterstof is hierbij een groot obstakel. De producten die dit kan opleveren veranderen met directe en indirecte hydrogenatie. Bij directe hydrogenatie, wordt CO₂ omgezet in CO, methaan, methanol of methaanzuur. De productie van methanol en methaan uit CO₂ zit al op een TRL van 7-9. Voor productie van grotere koolwaterstoffen wordt indirecte hydrogenatie gebruikt.

Carboxylatie (TRL 2 - 9) is het proces waarbij CO₂ wordt toegevoegd aan een alcohol, amines of een combinatie van beiden. Hierbij ontstaan carbonaten, urea, carbamaten (zoals bijvoorbeeld polyurethaan) en polymeren.

Mineralisatie (TRL 7 - 9) is het proces waarbij CO₂ wordt gebruikt voor de productie van inorganische carbonaten. Dit wordt gedaan door CO₂ te laten reageren met alkalische aardoxiden. Veel gebruikte alkalische aardoxiden zijn calciumoxide (CaO) of magnesiumoxide (MgO). Dit levert calciumcarbonaat op, wat een belangrijk bestandsdeel is van cement, en magnesiumcarbonaat, wat gebruikt wordt in de glasindustrie en in brandwerende materialen.

Elektrochemische reductie (TRL 3 - 5) is de conversie van CO₂ tot brandstoffen of chemicaliën door middel van elektriciteit. De elektrolytische cel bestaat uit 3 elementen: de kathode, elektrolyt en de anode. Aan de anode vindt wateroxidatie plaats wat resulteert in zuurstof en waterstof. Aan de kathode reageert CO₂ met de ontstane waterstof. Dit kan producten opleveren zoals syngas of methanol.

Plasma katalyse (TRL 1 - 3) maakt gebruik van verschillende vormen van energie om CO₂ om te vormen, zoals elektrische ontladingen, hitte, en licht. Hierdoor kan er geïoniseerd gas ontstaan, beter bekend als plasma. Nietthermische plasmatechnologie is het verst ontwikkeld maar het heeft een lage selectiviteit voor de gewenste producten. In plaats daarvan geeft het een mengsel van korte koolwaterstoffen. Recente ontwikkelingen met heterogene katalyse, oftewel plasmakatalyse, lijken de selectiviteit te kunnen verbeteren.

Technieken voor valorisatie van methaan

Methaan kan op verschillende manieren verder verwerkt worden (Nestrenko, 2023). Het is direct inzetbaar als brandstof, maar het kan ook verder verwerkt worden tot syngas, waterstof en methanol. Hierdoor kan het gebruikt worden als bouwsteen en koolstofbron.

Steam Methane Reforming (SMR) (TRL 9) is een wereldwijd breed toegepaste techniek voor de productie van synthesegas uit methaan. In de praktijk wordt de techniek meestal gebruikt om de productie van waterstof. Methaan reageert bij hoge temperaturen met waterdamp in de aanwezigheid van een katalysator. Bij deze productie komt een grote hoeveelheid CO₂ vrij.

Partial Oxidation (POX) (TRL 9) is het proces waarbij methaan gedeeltelijk wordt verbrand met zuurstof om synthesegas te produceren. Het grote pluspunt van deze techniek is de snelheid van de chemische reactie en de lage operationele kosten. Een van de uitdagingen van deze technologie is de noodzaak voor zuivere zuurstoftoevoer.

Bij Auto-thermische reformatie (TRL 5) reageert methaan met CO₂ om syngas te produceren. Het is een combinatie van SMR en POX. Door de hitte van de POX-reactie te gebruiken voor de SMR-reactie wordt de syngasratio verbeterd. Een uitdaging is de afzetting van koolstof op de katalysatoren. Deze techniek bevindt zich nog in de onderzoeksfase.

Door Methaanpyrolyse (TRL 3 tot 6) (Pjetrovic, 2024) wordt methaan thermisch ontleed in waterstof en vaste koolstof zonder toevoer van zuurstof onder hoge druk. Hierbij wordt CO₂ vrije waterstof geproduceerd. Er zijn verschillende technieken die dit kunnen, maar deze moeten wel nog een grote ontwikkeling doormaken voordat ze op commerciële schaal inzetbaar zijn.

Bij Directe methanolproductie wordt er via een katalytisch proces methaan direct geoxideerd tot methanol. Dit vermijdt de tussenstap van synthesegas, wat een eenvoudiger en energie-efficiënter proces oplevert. Het proces bevindt zich nog in de pilotfase.

Huidige bedrijfsactiviteiten en projecten

Advorio en Power2X werken aan het opstarten van een productielocatie waar 250 kta e-SAF wordt geproduceerd. Power2X is verantwoordelijk voor het produceren van deze duurzame vliegtuigbrandstof. Dit wordt geproduceerd uit geïmporteerde groene methanol welke wordt gemaakt uit groene waterstof en CO₂. Deze fabriek is de grootst aangekondigde e-SAF fabriek wereldwijd. Advorio ontwikkelt de opslag en logistieke faciliteiten.

H-vision richtte zich op de productie van waterstof uit de restgassen van raffinaderijen. CO₂ die vrijkomt wordt opgeslagen. De uitstoot van de Rotterdamse haven kan hierdoor met 2,7 megaton CO₂ verminderen. Daarnaast komt er restgasleidingen naar twee nieuw te bouwen waterstoffabrieken en een leiding om de waterstof mee te

transporteren naar afnemers. Dit project is echter op dit moment stopgezet wegens te hoge kosten. De partners kijken wel individueel of samen naar het realiseren van projecten om van restgassen waterstof te maken.

Verder zijn er twee projecten voornamelijk gericht op de opslag van CO₂, in plaats van het gebruik hiervan. CO₂Next is een terminal voor tijdelijke opslag en overslag van vloeibare CO₂ en is via Aramis verbonden met Noordzee. Deze terminal wordt ontwikkeld in een samenwerking tussen Gasunie, Vopak, Shell en TotalEnergies. De activiteiten zullen starten in 2028. Het heeft een opstartcapaciteit van 5.4 Mt per jaar, wat kan oplopen tot 15 Mt per jaar.

Exxonmobil gaat met FuelCell Energy CO₂ afvangen met carbonaat brandstof technologie. Deze technologie is modulair, waardoor het breed toepasbaar gaat zijn mits de proeffabriek succesvol is.

Randvoorwaarden

Te kort aan alternatieve, duurzame grondstoffen

Op dit moment zijn restgassen een reststroom waar men zich van wil ontdoen en zo veel mogelijk wil beperken. Met het oog op het tekort aan duurzame grondstofbronnen zouden restgassen een rol kunnen krijgen als grondstof. Echter, de huidige afzetmarkt voor restgassen blijft beperkt door de hoge kosten om deze te zuiveren, technische uitdagingen en beperkte toepassingen. Afnemers in bijvoorbeeld de landbouw, waar CO₂ als grondstof voor kassen wordt gebruikt, zijn vaak niet bereid om hogere prijzen te betalen. Dit belemmert de opschaling van innovatieve technologieën en processen voor het hergebruik van deze gassen. Door een tekort aan alternatieve koolstofbronnen zullen restgassen een belangrijke rol gaan spelen.

Infrastructuuraanpassingen

Grootschalige inzet van restgassen zal een uitbreiding van de infrastructuur vereisen, voornamelijk bij de raffinaderijen zelf. De gassen moeten worden afgevangen, gescheiden en getransporteerd. In het HIC liggen al gasleidingen maar dit netwerk zal moeten worden uitgebreid en aangepast, zoals bijvoorbeeld het geval is voor waterstof. Voor CO₂ opslaan bestaan al projecten zoals Porthos en OCAP, die als voorbeeld kunnen dienen voor de ontwikkeling van een bredere infrastructuur. Door een goed ontwikkeld transportnetwerk kunnen kosten gedrukt worden en schaalvoordelen bereikt worden. Hierbij moet goed rekening gehouden worden met de ontwikkeling die het cluster nog gaat doormaken. De verschillende bronnen van de restgassen kunnen nog verplaatsen en veranderen. Het is daarom van belang dat het restgassennetwerk is voorbereid op de industrie van de toekomst.

Technologische ontwikkeling

Er is een ontzettend breed palet aan technieken die restgassen kunnen verwerken en hergebruiken. Hoewel sommige van deze technologieën al op kleine schaal worden toegepast, bevinden veel zich nog in de experimentele of pilotfase en vereisen ze aanzienlijke verbeteringen op het gebied van efficiëntie, energieverbruik en economische haalbaarheid.

Een van de grootste uitdagingen is het hoge energieverbruik van veel huidige methoden (van Kranenburg, et al., 2021). De operationele kosten zijn hierdoor erg hoog. Daarnaast zijn er nog aanzienlijke technologische doorbraken nodig om de omzettingsrendementen te verhogen. Voordat restgassen op grote schaal als grondstof kunnen worden ingezet, moeten deze technologieën verder worden ontwikkeld, opgeschaald en geïntegreerd met bestaande industriële processen. Dit vraagt om investeringen in onderzoek en innovatie en samenwerking tussen industrie en wetenschap.

Beleid voor restgassen

Restgassen zoals CO₂ en methaan worden nog vaak als afval beschouwd, terwijl ze een belangrijke rol kunnen spelen in een circulair systeem. Effectief beleid moet afvang en gebruik van restgassen stimuleren. Niet alleen met een belasting op restgasemissies, maar in combinatie met financiële prikkels voor bedrijven die deze gassen als grondstof gebruiken. Hierbij moet de focus liggen op energiezuinige productie van brandstoffen en chemicaliën uit restgassen. De inzet van restgassen moet niet leiden tot verlengd gebruik van fossiele grondstoffen. De focus moet dus liggen op het

gebruik van kort cyclische carbon grondstoffen. Ook moet duidelijk zijn welke partij de CO₂-reductie kan toepassen en hoe deze reductie gewaardeerd wordt.

Algemene systemische randvoorwaarden

Samenwerking en coördinatie

Intracustersamenwerking

Binnen het industriecluster is intensieve coördinatie tussen bedrijven essentieel om de beschikbare ruimte in te zetten, nevenstromen te benutten en diverse grondstoffen zo efficiënt mogelijk in te zetten. Dit vereist een gezamenlijke aanpak op meerdere fronten (Smartport, 2024).

Door samenwerking binnen het cluster kunnen bedrijven profiteren van bulk-aanschaffingen – gezamenlijke inkoop van grondstoffen op grote schaal - wat kosten verlaagt, levenszekerheid creëert en de toegang tot duurzame grondstoffen verbetert. Tegelijkertijd is coördinatie nodig om grondstoffen en nevenstromen optimaal te verdelen en benutten binnen het cluster, zodat onnodige concurrentie wordt voorkomen en marktbarrières worden overbrugd.

Door reststromen van het ene bedrijf te gebruiken als grondstof voor een ander, kan een volledig geïntegreerde circulaire economie binnen het cluster worden gerealiseerd. Door een sterk verbonden cluster kunnen voordelen behaald worden zoals beperkte transport kosten en tijdsbesparing. Dit vraagt om een gezamenlijke strategie en een gedeelde infrastructuur die de uitwisseling van materialen en energie mogelijk maakt.

Intersectorale samenwerking

Samenwerking met sectoren buiten de chemie en brandstoffen zal nodig zijn, bijvoorbeeld in het benutten van alle nevenstromen. Voornamelijk samenwerkingen met afvalverwerking, hightech en agricultuur zullen belangrijk zijn (GNCE, 2021). Zo heeft de landbouw veel reststromen die een goede toepassing kunnen hebben als grondstof in de chemie, en andersom worden bepaalde reststromen van de chemie gebruikt als bodemverbeteraar. Ook in de samenwerking met de hightech sector is veel te bereiken. Zo kan digitalisering zorgen voor inzicht in grondstof- en reststromen en kan innovatie ertoe leiden dat er betere productietechnologieën ontwikkeld worden, verbetering in materiaalkunde, betere katalysatoren, sensoren en AI.

De afvalverwerkingssector en de brandstoffen en chemiesector zullen samen ervoor moeten zorgen dat reststromen weer inzetbaar zijn als grondstoffen. Er moeten additionele verwerkingsstappen aan de keten toegevoegd worden om te veranderen van lineair naar circulaire productie. Er zullen kwaliteitsstandaarden afgesproken moeten worden om te zorgen dat circulaire producten bruikbaar zijn en blijven voor de afnemers, zonder onrealistische verwachtingen over de kwaliteit. Daarnaast zullen er afspraken gemaakt moeten worden met downstream bedrijven om lastig te recycleren stoffen te minimaliseren in de eindproducten. Dit kan bijvoorbeeld door productontwerpen toe te passen die makkelijk te recycleren zijn en door het minimaliseren van additieven.

Er zal naast samenwerking ook veel concurrentie kunnen ontstaan over dezelfde grondstoffen. Echter, ook hier is baat bij goede samenwerking. GCNE (2021) pleit voor een cross-sectorale systeemroadmap voor verbeterd inzicht in de toepassingen van biomassa.

Internationale samenwerking

De Nederlandse chemie-industrie heeft een sterk internationaal karakter: ongeveer 80% van de hier geproduceerde producten wordt geëxporteerd, en ook worden de meeste grondstoffen geïmporteerd. Dit onderstreept dat een succesvolle transitie naar groene chemie en brandstoffen niet alleen een nationale, maar ook een internationale inspanning vereist. Internationale samenwerking en coördinatie zijn cruciaal om duurzame oplossingen te ontwikkelen en wereldwijd te implementeren. Zo kunnen reststromen goed ingezet worden, gedeelde kwaliteitsstandaarden afgesproken worden en de comparatieve voordelen van elk gebied gebruikt worden.

Een van de grootste uitdagingen is de ontwikkeling van duurzame grondstofmarkten. Hierbij gaat het niet alleen om de productie van groene grondstoffen, maar ook om het opzetten van duurzame waardeketens die vaak over meerdere

landen verspreid zijn. Niet elke schakel in de duurzame keten hoeft in Nederland of Rotterdam te worden gerealiseerd. Internationale samenwerking met andere landen is voordelig en essentieel. Het biedt de mogelijkheid om gebruik te maken van de comparatieve voordelen van verschillende regio's. Sommige landen beschikken over gunstige omstandigheden voor de productie van bio grondstoffen of energie, terwijl andere sterk zijn in technologische innovaties of industriële verwerking. Door infrastructuur en duurzame corridors te ontwikkelen – transport- en handelsroutes specifiek gericht op groene grondstoffen en producten – kunnen ketens efficiënter worden ingericht en verliezen worden geminimaliseerd.

Indien de EU inzet op strategische autonomie, zal de focus op zowel de verwerking van grondstoffen als de afzetmarkt grotendeels binnen de EU liggen. Dit biedt kansen om een geïntegreerd en duurzaam systeem op te bouwen, maar vereist ook intensieve samenwerking tussen lidstaten. Afspraken over de verdeling van grondstoffen, het stimuleren van groene chemie en het stellen van uniforme kwaliteits- duurzaamheidseisen – bijvoorbeeld aan geïmporteerde biomassa – kunnen bijdragen aan een gelijk speelveld. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2020) benadrukt dat EU-brede regelgeving cruciaal is om weglekeffecten te voorkomen.

Een internationaal level playing field is essentieel om te voorkomen dat de productie van groene chemie zich verplaatst naar regio's met minder strenge milieuregels of lagere kosten. Internationale afspraken over emissiereducties, hergebruik van grondstoffen en minimumnormen voor duurzaamheid moeten ervoor zorgen dat de transitie wereldwijd effect heeft en dat oneerlijke concurrentie wordt voorkomen. Nationale regelgeving kan de ontwikkeling van een level playing field hinderen door additionele regelgeving op te stellen. Het is belangrijk om te zorgen dat er een gezond ecosysteem voor innovatie aanwezig blijft, die tegelijkertijd een transitie naar een duurzame wereld ondersteunt en stimuleert.

Technologische ontwikkeling

In de chemiesector vindt momenteel een intensieve golf van innovatie plaats. Sommige technologieën zijn al commercieel volwassen en hebben een hoge Technology Readiness Level (TRL) bereikt, terwijl andere nog in een vroeg ontwikkelingsstadium verkeren. Dit maakt het lastig om met zekerheid te voorspellen welke technologieën dominant zullen worden en hoe de beschikbare grondstoffen uiteindelijk zullen worden toegepast. De druk om snel te verduurzamen maakt deze uitdaging nog groter. Waar de fossiele industrie decennia heeft gehad om haar processen te ontwikkelen en optimaliseren, moet de duurzame chemie in een veel kortere tijd concurrerend worden. De overgang wordt bemoeilijkt doordat de fossiele en duurzame systemen voorlopig naast elkaar blijven bestaan. Nieuwe technologieën moeten concurreren met een gevestigde fossiele sector die schaalvoordelen heeft en volledig is geoptimaliseerd. Dit maakt het voor opkomende duurzame processen lastig om economisch levensvatbaar te worden en marktaandeel te veroveren. Marktvraag naar duurzame producten voor een meerprijs moet ontwikkeld worden om de overlevingskans van technologisch succesvolle innovaties te vergroten.

Ruimtebeschikbaarheid voor groene productie en innovatie

In de Rotterdamse haven is maar beperkte fysieke ruimte beschikbaar. De duurzame chemie en brandstoffen sector zal meer ruimte innemen en hierdoor zal niet de volledige keten in de HIC kunnen ontwikkelen (Smartport, 2021). Het is belangrijk om bewust keuzes te maken over hoe we de ruimte gaan inzetten en om goed gebruik te maken van de voordelen die de Rotterdamse haven biedt. Daarnaast zal de transitie zelf ook tijdelijk de druk op de ruimte verhogen doordat de groene chemie ontwikkeld terwijl de grijze chemie nog aanwezig is. Door stapsgewijs te vervangen kan er ook stapsgewijs afgebouwd worden. Ook is het belangrijk om op korte termijn voldoende experimenteerruimte beschikbaar te stellen om nieuwe technieken te ontwikkelen en klaar te stomen voor commerciële schalen.

Conclusie en aanbevelingen

De circulaire transitie staat nog in de kinderschoenen. Er moet nog ontzettend veel gebeuren voordat deze goed op gang is gekomen. Om de doelstellingen van het havenbedrijf Rotterdam van zowel 2030 als 2050 te halen, is het van essentieel belang dat er snel stappen gezet worden. In dit rapport hebben we de 3 circulaire koolstofbronnen uiteengezet, de huidige projecten belicht en de randvoorwaarden voor een succesvolle transitie beschreven.

Bedrijven moeten samenwerken

Het HIC zal zich op een aantal manieren moeten voorbereiden om de transitie te faciliteren. Het belangrijkste is dat de bedrijven toenadering zoeken tot elkaar. Circulariteit betekent additionele stappen in de keten. Bedrijven moeten zowel stroomopwaarts als –afwaarts elkaar opzoeken om te zorgen dat afval tot product verwerkt kan worden, de kwaliteit naar behoeven is en de reststromen goed benut worden. Daarnaast is er noodzaak voor samenwerking met andere sectoren en overheden. Bedrijven in het cluster hebben er baat bij om zicht te hebben op hun toekomstige partners en verder onderzoek zal dit kunnen uitwijzen.

Stabiele toevoerstromen van toereikende grootte moeten ontwikkeld worden

De ontwikkeling van stabiele toevoerstromen van plastic afval en biomassa is ook van essentieel belang. Plastic afval moet op grotere schaal gesorteerd worden om een significante grondstofbron te worden. Biomassa kan veel verschillende bronnen hebben en zal hoogstwaarschijnlijk de grootste grondstof worden. Deze biomassa moet duurzaam gewonnen worden, maar reikt ver voorbij het Nederlandse productiepotentieel. Verdiepend onderzoek is nodig om te verkennen hoe alle grondstof-stromen duurzaam en efficiënt benut kunnen worden en in welke mate deze beschikbaar zullen zijn voor de bedrijven in het cluster.

De infrastructuur, logistiek en ruimtelijke invulling zal aangepast moeten worden voor de grondstoffentransitie

Deze toevoerstromen hebben ook grote implicaties voor de infrastructuur, logistiek en ruimtelijke invulling binnen het cluster. De huidige grondstof is voornamelijk vloeibaar, maar zullen vervangen worden met vaste grondstoffen. Ook zal het deel wat vloeibaar in het HIC binnenkomt andere eisen hebben dan de huidige aardolie. Het is belangrijk om te voorkomen dat de infrastructuur en logistiek geen beperkende factor wordt zodra er grote volumes vaste stoffen verwerkt worden. Hier kan de ruimtelijke invulling van de haven ook een ondersteunende rol in spelen. Er is baat bij de exacte implicaties te verkennen om nodige investeringen tijdig te voorspellen om een situatie zoals de netcongestie-problematiek te voorkomen.

Om de transitie tijdig te voltooien moet voldaan worden aan de randvoorwaarden

De grondstoffentransitie zal leiden tot vernieuwde technieken en productieprocessen. De uiteindelijke samenstelling van processen binnen het HIC hangt af van de gewenste eindproducten, maar veel van deze processen vereisen nog aanzienlijke ontwikkeling en gaan gepaard met hoge investeringskosten. Het versnellen van deze ontwikkeling is cruciaal. De circulaire doelstellingen voor 2030 zijn ambitieus en momenteel nog buiten bereik. Om deze doelen te realiseren, moeten meer projecten worden ontwikkeld. De in dit rapport benoemde randvoorwaarden moeten worden nageleefd om een succesvolle transitie naar circulariteit te garanderen.

Bronnen consultatie

De Buck, A., Afman, M., van der Kolk, J. (2013) *Reststromen propaan en ethaan als grondstof in kraakinstallaties*. CE Delft.

E-Bridge (2024) *Electricity cost assessment for large industry in the Netherlands, Belgium, Germany and France*. VEMW.

EUPC & Polymer Comply Europe (2019) *The Usage of Recycled Plastics Materials by Plastics Converters in Europe A qualitative European industry survey Second Edition*, (January 2019)

European Commission: Directorate-General for Environment. (2019). *Turning the tide on single-use plastics*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/294711>

GNCE (2021) *Actie agenda groene chemie, nieuwe economie: Ketentransitie in de procesindustrie*. GNCE. ISPT (2021) *Circular Plastics Roadmap*.

Kamkeng, A., Wang, M., Hu, J., Du, W., Qian, F. (2020) *Transformation technologies for CO2 utilisation: current status, challenges and future prospects*

Kennisinstituut duurzaam verpakken (2018) *Chemische recycling van kunststof verpakkingen*.

KPMG (2023) *Plastic feedstock for recycling in the Netherlands*.

Leguijt, C., et al. (2020). *Bio-Scope: Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa*. (Nr. 20.190186.017). CE Delft.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken (2018) *Transitie agenda circulaire economie, kunststoffen*

Neste (2024) *The complementarity of mechanical and chemical recycling: a plea to technology openness focused on common goals*.

Partners for Innovation (2021) *Actieplan toepassen kunststof recycelaat*.

Pjetrovic, A. E. (2024). *An Assessment of Methane Cracking Technologies for Hydrogen Production and Reduction of Greenhouse Gases*. 2024 Spring Honors Capstone Projects.

PlasticsEurope (2022) *Plastics – the facts 2022*.

Port of Rotterdam (2016) *Facts and figures: on the Rotterdam energy port and petrochemical cluster*.

Port of Rotterdam (2022) *Voortgangsrapportage herijkte havenvisie*.

Smartport (2021) *Ruimtelijke effecten van de energietransitie: casus Haven Rotterdam*.

Smartport (2024) *De transitie naar een circulaire Rotterdamse haven*.

Stichting afvalfonds (2020) *Zicht op de afvalketen*

Strengers, B., Elzenga, H., (2020) *Beschikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van duurzame biomassa: Verslag van een zoektocht naar gedeelde feiten en opvattingen*. PBL.

Van der Veen, R., Nauta, M., van Grinsven, A. (2024) *Kennisbasis biograndstoffen*. (Nr. 20.190186.017). CE Delft
Van Kranenburg, K., van Bree, T., Gavrilova, A., Harmsen, J., Schipper, C., Verbeek, R., Wieclaska, S., Wubbolts, F. (2021) *Transition to e-fuels: a strategy for the harbour industrial cluster Rotterdam*. TNO.

Bijlage

Brandstoffen, nafta en overige (57955 kt)

Product	Totale output van het HIC	BP (kt)	Esso (kt)	Shell Pernis (kt)	Gunvor (kt)	Vitol (kt)
alkylate	246 (0,42%)			246 (1,23%)		
base lube oils mix	93,48 (0,16%)				93,48 (1,79%)	
bitumen	458,38 (0,79%)			458,38 (2,30%)		
catalytic cracking distillate	700,38 (1,21%)	401,75 (2,21%)		298,63 (1,50%)		
Coke	19,86 (0,03%)		19,86 (0,19%)			
deasphalted oil	450,94 (0,78%)			450,94 (2,26%)		
diesel	10434,44 (18,00%)	3132,38 (17,26%)	2281,15 (22,13%)	3748,84 (18,81%)	770,82 (14,74%)	501,25 (17,81%)
gasoline	3706,57 (6,40%)	1533,4 (8,45%)	581,81 (5,64%)	1591,36 (7,98%)		
hydrogen (gas)	95,84 (0,17%)	16,25 (0,09%)	1,99 (0,02%)	61 (0,31%)	16,6 (0,32%)	
hydrogen sulphide (gas)	238,32 (0,41%)	82,2 (0,45%)	21,64 (0,21%)	134,48 (0,67%)		
hydrowax	816,04 (1,41%)		285,17 (2,77%)	221,98 (1,11%)		
kerosene	9713,09 (16,76%)	2530,86 (13,95%)	2091,87 (20,29%)	3941,41 (19,77%)	707,12 (13,52%)	441,83 (15,70%)
light distillate	1063,54 (1,84%)	212,69 (1,17%)	336,73 (3,27%)	115,76 (0,58%)	398,36 (7,62%)	
LPG	964,45 (1,66%)	501,42 (2,76%)	90,31 (0,88%)	372,71 (1,87%)		
Mix C4	34,36 (0,06%)		34,36 (0,33%)			
naphtha	8737,09 (15,08%)	3477,92 (19,17%)	1004,66 (9,75%)	3238,96 (16,25%)	253,76 (4,85%)	761,78 (27,06%)
reformate	4122,14 (7,11%)	951,2 (5,24%)	951,2 (9,23%)	1426,8 (7,16%)	792,94 (15,16%)	
residual oil	3981,82 (6,87%)	1513,42 (8,34%)		1342,52 (6,74%)	632,11 (12,09%)	
short residue	791,47 (1,37%)		791,47 (7,68%)			
vacuum distillate	3056,68 (5,27%)	612,46 (3,38%)	967,81 (9,39%)	328,41 (1,65%)	1148 (21,95%)	
vacuum gasoil	2828,07 (4,88%)	1318,81 (7,27%)				784,63 (27,88%)
vacuum residue	5402,31 (9,32%)	1859,24 (10,25%)	847,34 (8,22%)	1953,78 (9,80%)	416,67 (7,97%)	325,28 (11,56%)
Total	57955,3	18144,0	10307,4	19932,0	5229,9	2814,8

Tabel 5: Totaal aan output cijfers van de fossiele producten van de Rotterdamse raffinaderijen in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data.

Monomeren en polymeren (5529 kt) (Toepassingen gebaseerd op the Merck Index, 2013)

Materiaal	Hoeveelheid (kt)	Geproduceerd door	Mogelijke toepassingen (niet allesomvattend)
PVC	470	Shin Etsu	Rubberssubstitutie, leidingen, filmafwerking van textiel, etc.
Polyether	207	Shell Pernis	Polymeer categorie met meerdere ethergroepen
SAN Polyols	40	Shell Pernis	Vergelijkbaar met polystyreen
Propyleen	248	Shell Pernis	Tussenproduct voor acetone, polypropyleen, propyleen oxide, etc.
Styreen monomeer	2665	Lyondell Bayer (35%), Shell Moerdijk (65%)	Voor conversie tot polystyreen; synthetisch rubber, isolatie, wegwerpartikelen
Ethyleen oxide	164	Shell Moerdijk	Verdere productie tot ethyleen glycol
Ethyleen glycol	128	Shell Moerdijk	Antivriesmiddel, oplosmiddel in verf en plastics
Propyleen oxide	1218	Lyondell Bayer (28%), Shell Moerdijk (72%)	Tussenproduct voor polyurethanen, propyleen glycol, smeermiddelen, oplosmiddel, etc.
Para-xyleen	774	ExxonMobil	Voor productie van polyesters, die verwerkt worden tot o.a. kleding en plastic flessen
VCN	149	Shin-Etsu	Basisstof voor PVC productie

Tabel 6: Totaal aan output cijfers van een deel van de Rotterdamse mono- en polymeer producenten in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data. Overzicht van de bedrijven die zijn meegenomen in de MIDDEN database zijn te vinden in tabel 3.

Additieven voor polymersynthese (661 kt)

Materiaal	Hoeveelheid (kt)	Geproduceerd door	Toepassingen
Plasticizer	420	Exxon Mobile	Kan het smeltpunt en procestemperatuur verlagen van een polymeer, kan flexibiliteit en zachtheid vergroten
MIBK (methylisobutylketon)	27	Shell Pernis	Organisch oplosmiddel
MIBC (methylisobutylcarbinol)	2	Shell Pernis	Oplosmiddel voor organische synthese en plasticizers
1,4-butanediol.	126	Lyondell Chemie	Oplosmiddel gebruikt in de productie van polyurethanen
SBA (sec-butanol)	86	Shell Pernis	Oplosmiddel, synthese butanon, in de parfumindustrie

Tabel 7: Totaal aan output cijfers van een deel van de Rotterdamse polymeer additieven producenten in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data. Overzicht van de bedrijven die zijn meegenomen in de MIDDEN database zijn te vinden in tabel 3.

Brandstof additieven (1806 kt)

Materiaal	Hoeveelheid (kt)	Geproduceerd door	Toepassingen
MTBE (methyltertbutylether)	339	Lyondell Chemie (59%), Shell Pernis (41%)	Oplosmiddel in brandstof om de klopvastheid te vergroten
Ethyl tert butyl ether	200	Lyondell Chemie	Brandstof additief voor betere verbranding
Tert butyl alcohol	457	Lyondell Chemie	Tussenproduct voor o.a. MTBE
HCS (High Carbon Solvent)	668	Shell Pernis	Brandstofadditief

Tabel 8: Totaal aan output cijfers van een deel van de Rotterdamse brandstof additieven producenten in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data. Overzicht van de bedrijven die zijn meegenomen in de MIDDEN database zijn te vinden in tabel 3.

Oplosmiddelen voor verf, harsen, coatings, koelvloeistof, rubber en cosmetica (1926 kt)

Materiaal	Hoeveelheid (kt)	Geproduceerd door	Toepassingen
Propylene glycol	80	Lyondell Chemie	Emulgator in voedsel, farmaceutisch oplosmiddel
Propylene glycol methyl ether	90	Lyondell Chemie	Breed toepasbaar, o.a. als oplosmiddel in verf en inkt
Methyl propanediol	20	Lyondell Chemie	Oplosmiddel voor cosmetische producten
Benzeen	831	ExxonMobil	Productie polymeren, kleurstoffen, hars, pesticiden, wasmiddel. Oplosmiddel voor wax, hars, olie, natuurlijk rubber etc.
Cyclohexaan	281	ExxonMobil	Oplosmiddel in hars, verf. Vernis verwijdering. Tussenproduct voor o.a. benzeen, cyclohexaan
Ortho-xyleen	82	ExxonMobil	Oplosmiddel voor de productie van o.a. phtaltic anhydride, benzoic acid
Carbon black	74	Cabot	Vulmiddel voor rubber
IPA (isopropanol)	122	Shell Pernis	Ontsmettingsmiddel, koelmiddel
MEK (methyl ethyl keton)	73	Shell Pernis	Weekmaker, oplosmiddel in verfcoatings
DIBK (diisobutylketon)	4	Shell Pernis	Oplosmiddel in o.a. verf en lijm

Tabel 9: Totaal aan output cijfers van een deel van de Rotterdamse oplosmiddelen producenten in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data. Overzicht van de bedrijven die zijn meegenomen in de MIDDEN database zijn te vinden in tabel 3.

Biobrandstoffen en eetbare oliën

Product	Totale output van het HIC	Biopetrol Rotterdam B.V.	Cargill Rotterdam/Botlek	Neste Oil	Sime Darby Unimills Zwijndrecht
Biodiesel	1260,35	350,35		910	
Biogasoline	22,75			22,75	
Crude glycerol	33,178145	33,178145			
free fatty acids	47,25		37,8		9,45
modified palm oil	1012,5		900		112,5
modified rapeseed oil	156,15		99,9		56,25
modified soybean oil	56,25				56,25
oil loss	8,8983		4,3983		4,5
refined palm oil	100				100
refined rapeseed oil	50				50
refined soybean oil	50				50

Tabel 10: Totaal aan output cijfers van een deel van de Rotterdamse bioraffinaderijen in 2021 gebaseerd op de MIDDEN data.