



# Van vuilniszak naar circulaire chemie

Verkenning van de potentie van  
kunststofafval als grondstof voor de  
Rotterdamse chemiesector



**CE Delft**

*Committed to the Environment*

# Van vuilniszak naar circulaire chemie

Verkenning van de potentie van kunststofafval als grondstof voor de Rotterdamse chemiesector

Dit rapport is geschreven door:  
Geert Bergsma, Martijn Broeren, Jaime Rozema, Pelle Sinke

Delft, CE Delft, mei 2020

Publicatienummer: 19.180052.178

Opdrachtgever: Gemeente Rotterdam  
Uw kenmerk: Inkoopordernr 10000310171

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Geert Bergsma](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

## CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Samenvatting

De gemeente Rotterdam wil graag het afval dat de stad produceert zo circulair mogelijk inzetten. Een belangrijk deel van het hoogwaardig te recyclen afval in de stad is kunststof. Dit werd tot voor kort vooral verbrand in de AEC. Recentelijk wordt een behoorlijk deel van nascheiding uitgesorteerd voor mechanische recycling. Hiermee is een deel van het materiaal hoogwaardig te recyclen maar voor een deel is dit ook lastig. Hiervoor worden op dit moment nieuwe technieken van chemische recycling ontwikkeld en uitgerold. De gemeente faciliteert via innovatiebeleid (in samenspraak met haar partners Havenbedrijf, IQ en RP) de vorming van een cluster chemische recycling.

Chemische recycling kan een goede aanvulling zijn op mechanische recycling, omdat het afvalstromen kan recyclen die nu met mechanische recycling niet of heel lastig te recyclen zijn. Een bijkomend voordeel is dat naast kunststof ook andere koolstofrijke afvalstromen chemisch gerecycled kunnen worden via dezelfde technieken. Chemische recycling kan hierdoor vanuit verschillende afvalstromen circulaire bouwstenen voor de chemische industrie produceren, waardoor er in die sector minder bouwstenen uit fossiele brandstoffen nodig zouden zijn. Door nieuwe en verbeterde nascheidingsinstallaties komen deze stromen steeds meer beschikbaar als secundair materiaal. Ontwikkelingen op het gebied van chemische recycling lijken zich momenteel met name op het verwerken van kunststof te richten. In deze verkenning bekijken we daarom primair hoe het kunststofafval uit de vuilniszakken uit Rotterdam en andere Noord-Europese steden kan bijdragen aan de circulariteit van de Rotterdamse chemiesector.

In deze verkenning onderzoeken we achtereenvolgens de hoeveelheid kunststofafval die beschikbaar is (in Rotterdam, in heel Nederland en in omliggende landen), de technieken die gebruikt kunnen worden om dit afval te verwerken, en de schaal van de chemie in Rotterdam (om te kijken in hoeverre de hoeveelheid afval aansluit op de huidige productie). Vervolgens schetsen we een mogelijke inrichting van een recyclinghub Rotterdam met bijbehorende beleidsaanbevelingen.

## Beschikbaar kunststofafval

Uit een inventarisatie van beschikbaar kunststofafval blijkt dat in Rotterdam jaarlijks ongeveer 0,1 miljoen ton (Mton) gescheiden kunststof wordt ingezameld. Grofweg dezelfde hoeveelheid wordt niet gescheiden, maar belandt met het restafval in de verbrandingsoven. De totale hoeveelheid gescheiden ingezameld kunststof in Nederland bedraagt 0,8 Mton. In een aantal omliggende landen (België, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken) wordt gezamenlijk 6,5 Mton per jaar gescheiden ingezameld.

Gemiddeld wordt minder dan de helft van de afgedankte kunststoffen gescheiden aangeboden bij verwerkers. Dit zijn vooral verpakkingen. Alleen dit afval kan momenteel als beschikbaar voor recycling worden beschouwd. Om de ongescheiden bronnen aan te boren (in Noordwest-Europa samen nog eens goed voor grofweg 10 Mton kunststofafval) moeten scheidingspercentages omhoog en dienen de inzamelsystemen zich ook te richten op niet-verpakkingen. Stimulering van verbeterde bron- en nascheiding vanuit de gemeenten kan daaraan bijdragen.

## Technieken

Er zijn verschillende (groepen van) technieken beschikbaar waarmee kunststofafval verwerkt kan worden, waaronder mechanische recycling, chemische recycling en verbranding met energierugwinning in een afvalenergiecentrale (AEC). Als naar de klimaatimpact gekeken wordt, heeft mechanische recycling de voorkeur boven de alternatieven, maar deze techniek kan niet voor alle afgedankte kunststoffen ingezet worden. Sommige stromen zijn te vervuild of te zeer vermengd (bijvoorbeeld laminaten), waardoor mechanische recycling een laagwaardig product oplevert (gemengde plastics) of niet mogelijk is (recyclinguitvallen). In deze gevallen kan chemische recycling uitkomst bieden. Eerste analyses geven aan dat vormen van chemische recycling die de polymeren het minst ver afbreken (namelijk depolymerisatie en zuivering met oplosmiddelen) milieukundig dicht tegen mechanische recycling aan zitten. Bij feedstockrecycling (pyrolyse en vergassing) worden de polymeren verder afgebroken en deze technieken scoren milieukundig iets minder goed, hoewel nog steeds een stuk beter dan verbranding in de AEC. Chemische recycling is daarom milieukundig vooral interessant wanneer het ervoor zorgt dat afgedankte kunststoffen niet in een AEC terecht komen (bijvoorbeeld uitvallen van mechanische recycling) of als de kunststoffen niet volledig afgebroken worden (bijvoorbeeld bij depolymerisatie).

## Schaal chemie in Rotterdam

Op basis van cijfers van het Havenbedrijf Rotterdam komen we tot een eerste schatting van kunststofproductie van 6 Mton/jaar (zie Bijlage A). De verscheidenheid aan cijfers en hoge productie van halffabricaten maken het echter lastig om de kunststofproductie in de regio Rotterdam precies te bepalen. Om deze hoeveelheid te produceren op basis van grondstoffen uit afval, is het nodig om minimaal dezelfde hoeveelheid kunststofafvalstromen naar Rotterdam te halen. Naast kunststofafval kunnen ook andere koolstofrijke afvalstromen, duurzame biomassa en afgevangen koolstof als hernieuwbare bronnen voor de chemische industrie worden gebruikt.

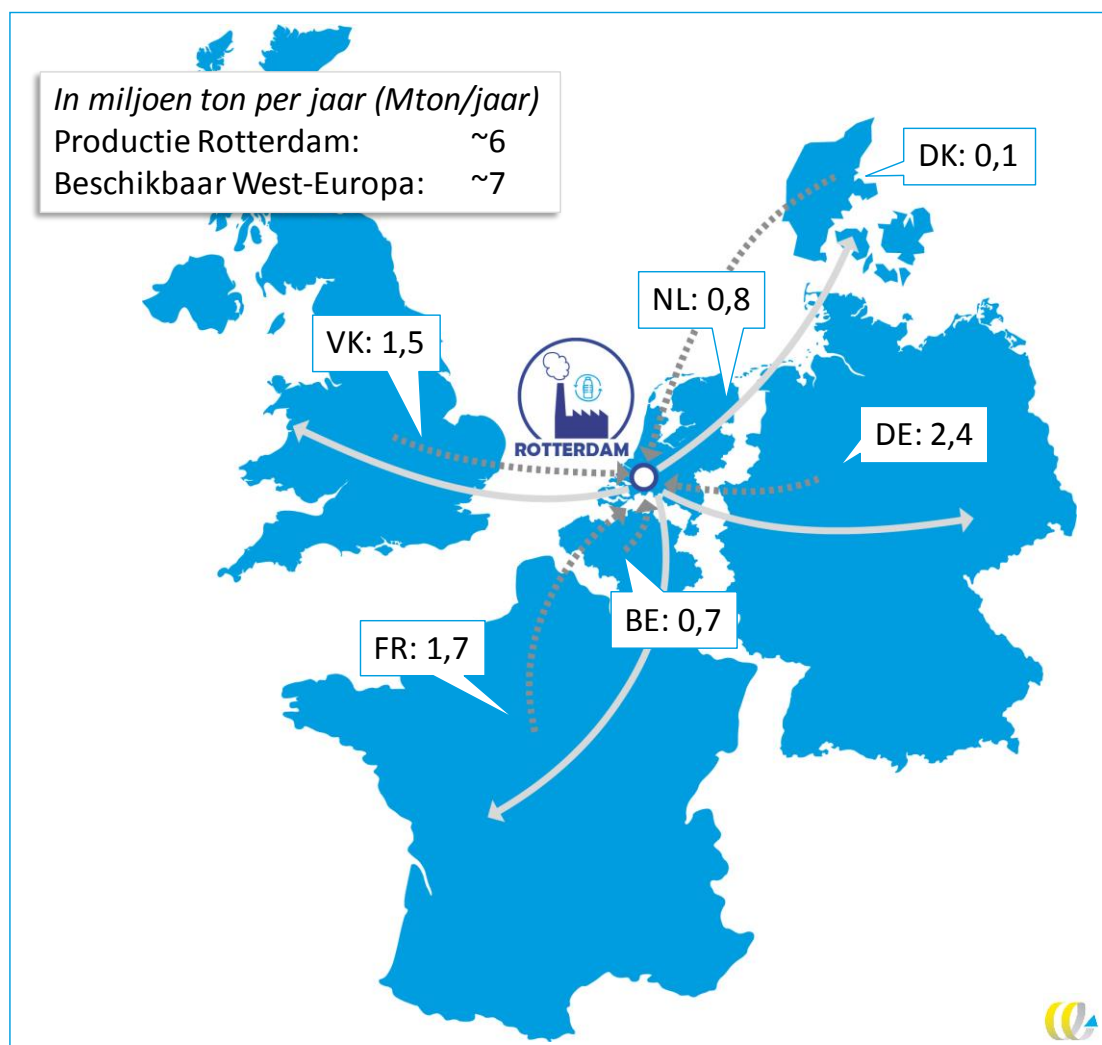
## Mogelijkheden om afvalstromen in te zetten voor circulaire chemie

Het afval in de regio Rotterdam is bij lange na niet toereikend om de kunststofproducerende industrie via chemische recycling van circulaire grondstoffen te voorzien. Om circulariteit te verwezenlijken zal Rotterdam zich moeten ontwikkelen tot recycling-hub, waar via de haven kunststof- (en mogelijk aanvullend koolstofrijk) afval uit Noordwest-Europa binnenkomt. Bij import zal wel zeer nauwkeurig gekeken moeten worden naar opties met de grootste milieuwinst. Transportafstand, type afval en manier van verwerking moeten allen meegenomen worden in de afweging. Als dat gebeurt, kan het mes aan twee kanten snijden: Rotterdam heeft er een sterke bron van nieuwe grondstoffen bij en de exporterende landen zijn verzekerd van hoogwaardige en milieukundig verantwoorde afvalverwerking.

Regionaal transport zal in deze situatie toenemen, maar tegelijkertijd zal het gebruik (en afhankelijkheid) van fossiele feedstock en bijbehorend intercontinentaal transport afnemen (Figuur 1). Dit resulteert niet alleen in een forse mondiale CO<sub>2</sub>-reductie, maar biedt regionaal ook kansen voor werkgelegenheid en economie. Daarnaast draagt Rotterdam hiermee bij aan regionale, nationale en Europese doelstellingen op het gebied van CO<sub>2</sub>-emissiereductie en circulariteit.



Figuur 1 - Theoretisch *benodigde* (om de aan kunststof gerelateerde petrochemische industrie in Rotterdam van recyclaat te voorzien) en *beschikbare* (reststromen uit bron- en nascheiding in Nederland en omliggende landen) hoeveelheden kunststof



Rotterdam zal de recyclingcapaciteit in het industriële cluster moeten uitbreiden om de benodigde hoeveelheid circulaire grondstoffen te produceren. Hiervoor moet een optimum gezocht worden dat uitgaat van de hoeveelheid en soort te verwerken afvalstromen, deze verwerkt met milieukundig goed presterende technieken en aansluit bij de (huidige en toekomstige) vraag naar grondstoffen. Dit optimum bestaat uit capaciteit voor mechanische recycling en chemische recycling in korte ketens (depolymerisatie en oplossing) waar mogelijk, aangevuld met chemische recycling in lange ketens (feedstockrecycling; pyrolyse en vergassing) waar nodig.

## Denkbaar klimaatvoordeel van de Rotterdamse Transitie: 7 Mton

Op dit moment wordt kunststof voor ongeveer 15% gerecycled. Meer bron- en nascheiding, mechanische en vooral chemische recycling maken het denkbaar dat dit percentage gaat toenemen tot 80% in 2030. Als dit ingevuld zou worden met voor de helft mechanische recycling (van 15 naar 40%) en 40% chemische recycling (25% feedstock en 15% monomeer en oplossen), dan kan de Rotterdamse regio een totale CO<sub>2</sub>-reductie van 7 Mton realiseren (door de keten heen). In verhouding tot de huidige gerapporteerde emissie in de regio van 30 Mton is dit significant.

## Aanbevelingen voor de Rotterdamse Transitie naar Recyclehub

Bedrijven zijn bezig om elementen van zowel depolymerisatie, oplossing en feedstock-recycling te ontwikkelen en te implementeren, maar zij lopen daarbij tegen technische, economische en beleidsmatige drempels op. De gemeente Rotterdam, de Provincie Zuid-Holland en de MRDH-regio kunnen op verschillende manieren helpen deze drempels te egaliseren. Samen met de nationale overheid en de EU kan Rotterdam helpen om de lijnen vorm te geven. We noemen hier een aantal beleidsmogelijkheden voor de gemeente. Kortweg gezegd gaat het dan om het vergroten van volumes, het versnellen van de transitie en vergroten van kennis en innovatieruimte voor nieuwe hoogwaardige technieken:

### Aanbevelingen Verpakkingsafval

1. De gemeente Rotterdam heeft door de medewerking aan een nascheidingsinstallatie (bij de AVR) van verpakkingsafval uit het huisvuil van Rotterdam de volumes af te scheiden plastic sterk vergroot. Aanbevolen wordt om via de beleidslijnen van VNG, NVRD en G4-steden te pleiten voor maximale scheiding (zowel voor- als nascheiding) en optimale verwerking in Nederland. Verder wordt een lobby richting Europa aanbevolen om maximale scheiding en optimale verwerking van kunststof te bevorderen. Hiermee moet het aanbod van gescheiden verpakkingsafval fors worden vergroot.
2. De gemeente Rotterdam pleit samen met de VNG voor het verhogen van het recyclingdoel voor kunststof verpakkingen naar 70%.
3. De gemeente Rotterdam pleit binnen VNG-, G4- en NVRD-verband voor een afspraak binnen de Raamovereenkomst Verpakkingen waarbij feedstockrecycling en monomeerrecycling worden bevorderd. Bijvoorbeeld door monomeerrecycling gelijk te stellen aan mechanische recycling en dat feedstockrecycling telt voor 50% (1% feedstockrecycling telt als 0,5% mechanische recycling).
4. De gemeente Rotterdam bepleit bij de Rijksoverheid om het afvalbeleid (LAP) zo aan te passen dat afvalstromen zo hoogwaardig mogelijk verwerkt worden, ook nu er nieuwe technische opties voor chemische recycling op de markt komen. De gemeente Rotterdam bepleit bij de nationale overheid (RWS) dat in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3) monomeerrecycling gezien wordt als behorende tot de meest hoogwaardige recycling (Categorie C1) en feedstockrecycling tot Categorie C2 (mits de output wordt toegepast als materiaal).
5. De gemeente Rotterdam pleit binnen VNG- en G4-verband in Den Haag voor het opnemen van chemische recycling in de SDE++-subsidierегeling, met een hogere waardering voor monomeerrecycling dan voor feedstockrecycling.

### Eigen gemeentelijke afvalstromen/inkoop (niet verpakkingsafval)

6. De gemeente Rotterdam laat haar kunststofafval zo sorteren/verwerken dat kunststofstromen mechanisch of via chemische recycling worden verwerkt, met de best beschikbare technieken. Dit geldt bijvoorbeeld voor kunststofgrasvelden, kunststof van milieuparken en niet-verpakkingsplastics in het huisvuil. Zodra deze afvalstromen opnieuw aanbesteed worden zal hier aandacht voor zijn (huisvuilplastics pas in 2030).



Via de VNG/G4 stimuleert ze ook andere gemeenten zo te gaan handelen. Zowel Circulariteit als CO<sub>2</sub> worden meegenomen in de aanbesteding.

#### **Gemeentelijk Economisch Innovatie-/Transitiebeleid**

7. De gemeente faciliteert grootschalige technologieën (feedstock, monomeer en scheiding) in samenwerking met Havenbedrijf en IQ. Daarbij faciliteert ze kansrijke pilot- en demonstratie-installaties. Zij benut daarbij de positie van het chemische testcentrum Plant One.
8. De gemeente stimuleert ook specifieke innovatietechnologieën gericht op de verwerking en/of scheiding van specifieke gemeentelijke kunststofstromen, zoals veegafval, kunststof grasvelden, textielafval, etc. Zij vullen het afval recyclehub verder aan.
9. Circulaire Havens in Europa: De gemeente Rotterdam pleit samen met Antwerpen en Ludwigshafen/Mannheim (eventueel aangevuld met andere steden met veel chemie) in Europa voor een geleidelijk oplopend target van secundaire en/of biobased/CCU chemie met een EU-transitiefonds om deze verandering mogelijk te maken.

Rotterdam zou met lokale kunststofafvalstromen (en afval dat via de haven is ingevoerd) een recyclinghub kunnen worden, waarin innovatieve circulaire technieken ingezet worden om nuttige inputs voor de industrie te leveren. Het doel hiervan is om de chemische industrie, die een hoge klimaatimpact heeft maar ook veel waarde levert aan de stad, duurzaam te behouden voor de stad. Zowel de stad als de haven hebben sterke ambities op het gebied van circulariteit van grondstoffen en broeikasgasemissiereductie. Zoals blijkt uit het pas gesloten Rotterdams Klimaatakkoord, kunnen die ambities elkaar aanvullen en versterken<sup>1</sup>. Het is goed mogelijk dat nieuwe circulaire chemie die hier onderzocht is, vervlocht zal raken met en bestaande visies op andere koolstofbronnen voor de chemie (duurzame biomassa en afgevangen koolstof). De uitwerking van de vervlechting zien we als een logische vervolgstap op dit project.

---

<sup>1</sup> <https://www.rotterdam.nl/nieuws/rotterdams-klimaatakkoord/>



# Inhoud

	Samenvatting	2
1	Inleiding	8
	1.1 Aanleiding en doelstelling	8
	1.2 Afbakening	9
	1.3 Aanpak en leeswijzer	10
2	Grondstoffen en klimaat in de regio Rotterdam	11
	2.1 Regionale ambities op het gebied van grondstoffen en klimaat	11
	2.2 Recycling en broeikasgasemissiereductie	13
	2.3 Bestaande onderzoeksprojecten rondom chemische recycling en biobased productie in de regio	14
	2.4 Deelconclusies	14
3	Volumes kunststofafval in Noordwest-Europa	15
	3.1 Gescheiden en ongescheiden kunststofafval	15
	3.2 Deelconclusies	17
4	Technieken en klimaatimpact	19
	4.1 Overzicht nascheidingstechnieken restafval	19
	4.2 Overzicht verwerkingstechnieken	20
	4.3 Deelconclusies	24
5	Schaal chemie in Rotterdam	25
	5.1 Kunststofproductie in Rotterdam	25
	5.2 Deelconclusies	26
6	Discussie	27
	6.1 Aansluiting aanbod kunststofafval op potentiële vraag Rotterdam	27
	6.2 Mechanische en chemische recycling combineren	30
	6.3 Op zoek naar het optimum	32
7	Aanbevelingen	34
	7.1 Rotterdamse Transitie naar Recyclehub	34
	7.2 Denkbare klimaatvoordelen van de Rotterdamse Transitie	36
	7.3 Aanbevelingen Rotterdamse Transitie naar Recyclehub	36
	7.4 Verder onderzoek	37
8	Literatuur	39
A	Productiecapaciteit in het Rotterdams industriële complex	41





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doelstelling

De gemeente/regio Rotterdam wil graag zowel haar grondstoffenaanvoer als haar afval zo circulair mogelijk maken. Een belangrijk deel van het afval in de stad bestaat uit kunststof dat met nieuwe nascheidingsinstallaties steeds meer beschikbaar komt als secundair materiaal.

Een belangrijke productiesector in Rotterdam is de chemie die op grote schaal kunststoffen (en andere producten) maakt. In deze verkenning van vuilniszak naar circulaire chemie kijken we hoe het kunststofafval (eventueel aangevuld met andere koolstofrijke stromen) uit de vuilniszak in Rotterdam en andere steden kan bijdragen aan de ontwikkeling van een meer circulaire chemie in Rotterdam.

Rotterdam zou zo op basis van lokale afvalstromen en aanvoer van afval via de haven een recyclinghub kunnen worden, waarin innovatieve circulaire technieken ingezet worden om nuttige inputs voor de industrie te leveren. De chemische industrie in de haven, die een hoge klimaatimpact heeft<sup>2</sup> maar ook veel waarde levert aan de stad, kan hiermee duurzaam behouden blijven voor de stad.

### Chemische recycling als gamechanger?

Op het moment bestaat de recycling van kunststoffen vooral uit mechanische recycling, waarbij de chemische structuur intact blijft. Een behoorlijk deel van het kunststofafval kan hiermee gerecycled worden, maar er zijn grenzen aan de kwaliteit materiaal die geproduceerd kan worden. Daarnaast kan niet al het kunststofafval hoogwaardig gerecycled worden. Er zijn echter ook nieuwe technieken voor chemische recycling in ontwikkeling, die andere voordelen bieden en mogelijk een goede aanvulling kunnen zijn. Zo kan chemische recycling bijvoorbeeld een hogere productkwaliteit leveren, omdat de kunststoffen die als input dienen afgebroken en weer opgebouwd worden.

Tot voor kort bestond de kunststofrecyclingsector, die werkt met mechanische technieken, los van de (veel grotere) chemische industrie. Uit de recyclingsector kwamen kleine hoeveelheden van in het algemeen minder hoogwaardige materialen. Door innovatie neemt de kwaliteit van dit materiaal steeds meer toe. Daarnaast zijn er nieuwe opties voor chemische recycling op de markt aan het komen waarmee de chemie op basis van afval hoogwaardige kunststoffen kan maken. Dit maakt dat secundaire grondstoffen een steeds grotere rol kunnen gaan spelen in de kunststofindustrie, wat erkend wordt door plannen als de 'Roadmap Next Economy' (MRDH, 2016) en 'In Drie Stappen Naar een Duurzaam Industriecluster Rotterdam-Moerdijk In 2050' (Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, 2018).

---

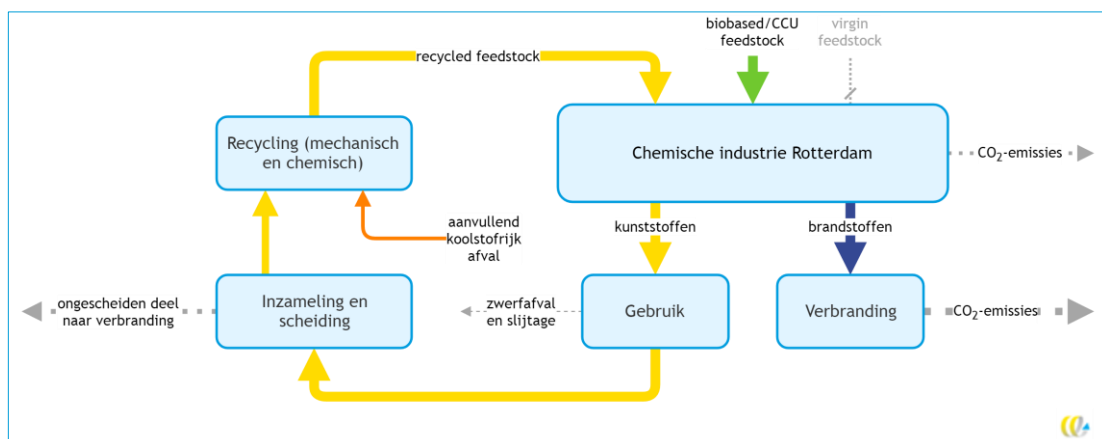
<sup>2</sup> De raffinaderijen, chemiebedrijven, producenten industriële gassen en overige industrie in Rotterdam en Moerdijk hadden een gezamenlijke klimaatimpact van ca. 16,9 miljoen ton CO<sub>2</sub> per jaar in 2017 (Port of Rotterdam, 2018).



Het doel van dit rapport is om te verkennen hoe kunststofafval van consumenten en gemeenten kan helpen bij de vorming van een chemisch recycling cluster; ‘Van vuilniszak naar circulaire chemie’, en zo een grondstofronde in Rotterdam te stimuleren die gunstig is voor zowel de stad als de haven.

Naast het draaien op kunststofafval zou er ook een deel koolstofrijk biologisch materiaal en *carbon capture and utilisation* (CCU) als aanvulling worden toegevoegd aan deze circulaire chemie. Dit nemen we in dit rapport wel mee als aandachtspunt maar werken we minder uit. In Figuur 2 is de opgave samengevat.

Figuur 2 - Visie voor een meer circulair productiesysteem van de petrochemische industrie in Rotterdam



## 1.2 Afbakening

Om de potentiële beschikbaarheid van afgedankt kunststofafval die als input kunnen dienen in kaart te brengen, wordt op verschillende schalen gekeken: de regio Rotterdam, Nederland en Noordwest-Europa. Qua afvalverwerkingsprocessen ligt de focus op nieuwe verwerkingstechnieken (bijvoorbeeld chemische recycling) en op bestaande verwerkingsmethoden die doorontwikkeld kunnen worden (bijvoorbeeld mechanische recycling, afvalenergiecentrales). Vanuit het oogpunt van circulaire productie richt de analyse zich op de Rotterdamse chemie, en daarom wordt de (huidige) productie van kunststoffen in het industriecluster als uitgangspunt genomen.

Omdat de technieken voor de verwerking van laagcalorische koolstofhoudende afvalstromen (bijvoorbeeld biomassa) substantieel anders zijn (onder andere andere verbrandingswaarde), hebben deze niet de focus. Ook wordt aandacht besteed aan het nascheiden van kunststofafval uit gemengde afvalstromen.

In de praktijk is het heel goed mogelijk dat deze verkenning van een circulaire chemie en bestaande visies op biobased en CCU in elkaar vervlochten zullen raken. De uitwerking van de vervlechting zien we als een logische vervolgstap op dit project.

Hoewel de hier uitgevoerde analyses zo gedetailleerd en kwantitatief mogelijk uitgevoerd worden, betreft het een eerste verkenning. Dit betekent bijvoorbeeld dat aannames en versimpelingen toegepast worden. De bedoeling van deze analyse is om in kaart te brengen in hoeverre de kunststofafvalstromen uit de gemeente/regio Rotterdam toereikend zijn om de kunststofproducerende industrie in het havengebied op secundaire grondstoffen te laten draaien, en waar de aanvullende hoeveelheden materiaal verkregen zouden kunnen

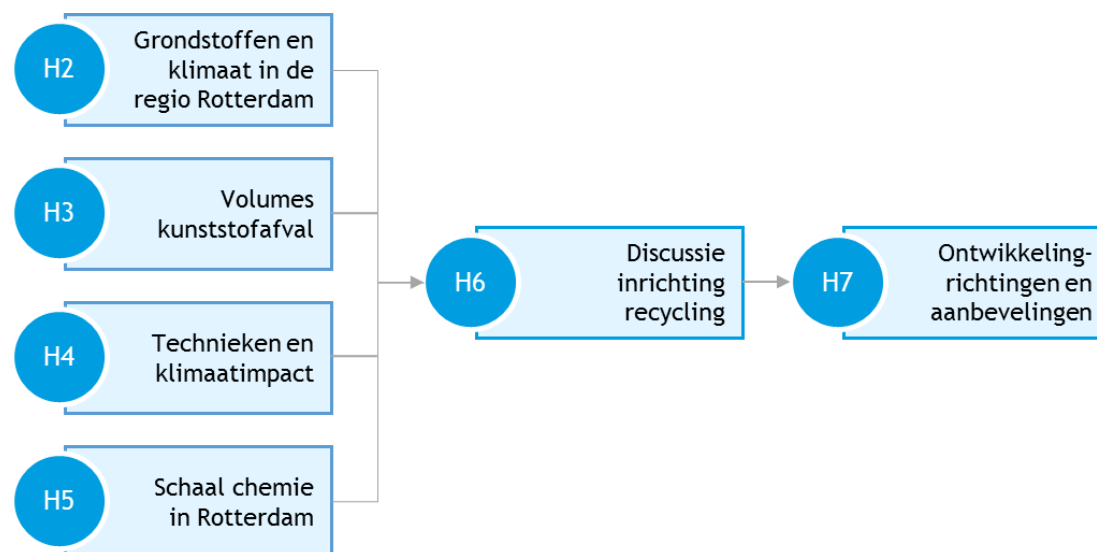
worden. Aan de hand daarvan ontstaat een schets hoe dat er dan in de praktijk uit zou kunnen zien en welk beleid er nodig is om dit te bereiken.

### 1.3 Aanpak en leeswijzer

De aanpak van deze analyse wordt geïllustreerd in Figuur 3. We kijken eerst naar de achtergrond en eerdere ontwikkelingen op het gebied van grondstoffen, klimaat en recycling in Rotterdam (Hoofdstuk 2). Er wordt vervolgens bekeken wat het potentieel is aan verschillende afvalstromen in binnen- en buitenland die mogelijk als inputmateriaal gebruikt kan worden in de Rotterdamse industrie, rekening houdend met de huidige sorteerrendementen (Hoofdstuk 3). Ook wordt gekeken welke innovatieve afvalverwerkings- en nascheidings-technieken beschikbaar zijn (Hoofdstuk 4) om deze afvalstromen (de input) om te zetten in grondstoffen voor de chemie (de output). Vervolgens onderzoeken we de schaal van de Rotterdamse chemische productie om te kijken of het beschikbare afval voldoende is om de kunststofproductie circulair te maken (Hoofdstuk 5).

Deze losstaande elementen worden gecombineerd in een discussie waarin onderzocht wordt hoe kunststofafval verwerkt zou kunnen worden en hoe op een optimaal recyclingsysteem gestuurd kan worden (Hoofdstuk 6). Hieruit volgt een uitwerking van ontwikkelrichtingen, beleidsaanbevelingen voor Rotterdam en een overzicht van mogelijk verder onderzoek (Hoofdstuk 7).

Figuur 3 - Overzicht aanpak en hoofdstukindeling



## 2 Grondstoffen en klimaat in de regio Rotterdam

### 2.1 Regionale ambities op het gebied van grondstoffen en klimaat

De gemeente Rotterdam heeft verschillende beleidsplannen, programma's en ambities om een transitie naar meer circulariteit en duurzaamheid vorm te geven. Zo ziet de wethouder van Duurzaamheid, Luchtkwaliteit en Energietransitie Arno Bonte het als zijn missie CO<sub>2</sub>-emissies sterk te verminderen. Kenmerkend voor de circulaire ambities is het recent gepubliceerde Programma Rotterdam Circulair, waarin vermeld staat dat in 2030 een halvering van fossiel grondstoffengebruik bewerkstelligd moet worden (Gemeente Rotterdam, 2019). Deze doelstelling sluit naadloos aan op de landelijke doelstellingen in het Rijksbrede programma Circulaire Economie (Rijksoverheid, 2016) en de Transitieagenda Kunststoffen (Rijksoverheid, 2018).

De gemeente heeft ook doelen geformuleerd voor 2023 omtrent verhoging van afval-scheidings- en zuivere reststroompercentages. De in de zomer van 2019 uitgebreide nascheidingsinstallatie van AVR draagt hieraan bij. In 2050 wil de gemeente volledig circulair zijn en alle materiaalkringlopen gesloten hebben. De Metropoolregio Rotterdam-Den Haag (MRDH) heeft daarnaast in de Roadmap Next Economy de wens geformuleerd om een van de eerste volledig circulaire regio's ter wereld worden (MRDH, 2016). Om dit te bereiken wil zij als eerste regio ter wereld alle stromen van grondstoffen, materialen en afval in kaart brengen. Een eerste stap daartoe is al gezet door Metabolic (2018). Naast deze gemeentelijke ambities heeft de Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk het plan In Drie Stappen Naar een Duurzaam Industriecluster Rotterdam-Moerdijk In 2050 (2018) opgesteld, waarin de ambities voor circulariteit en broeikasgasemissiereductie stevig verankerd zijn.

Het is duidelijk dat voor de transitie naar een meer circulaire economie faciliteiten moeten worden ingericht die hoogwaardige recycling van materialen verbinden aan een economisch duurzame bedrijfsvoering. In eerdere studies van CE Delft (CE Delft, 2017b; 2018a) zijn reeds verschillende routes voor chemische recycling en hun klimaatimpact onderzocht.

Dankzij de rol van Rotterdam als wereldhaven en haar zeer ontwikkelde industrie, is het van belang verder te kijken dan de gemeentelijke grenzen om mogelijkheden met betrekking tot circulariteit en recycling optimaal te benutten. Onderzoeken, plannen en ontwikkelingen die hiervoor van belang zijn worden in de rest van dit hoofdstuk uiteengezet.

## Voorbeelden innovatieve grondstoffenclusters in andere Europese (haven)steden

### Kopenhagen, Denemarken

De stad Kopenhagen ambieert binnen het FORCE-programma om flexibel plastic afval bij huishoudens op te halen en het te verwerken tot een waardevolle grondstof. Om dit te bereiken gaat de stad ten minste drie verschillende ophaalmethodes testen en beoordelen op effectiviteit en betrokkenheid van de burgers. Daarnaast wil Kopenhagen de hergebruikte flexibele plastics op minimaal tien innovatieve manieren toepassen. In 2012 is de stad ook al begonnen met het ophalen van harde plastics bij huishoudens.<sup>3</sup>

### Parijs-Le Havre

In Le Havre is afvalverwerkingsbedrijf Veolia actief om kringlopen te sluiten en daarmee een circulaire economie op te zetten. In 2009 werd het Siroco-project gelanceerd op initiatief van SEMEDI (Société d'Economie Mixte pour l'Élimination des Déchets Industriels de la Basse-Seine)<sup>4</sup>. Dit project had als doel het opvangen, concentreren en recyclen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De geconcentreerde CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt via een gasnetwerk naar industriële gebieden getransporteerd waar dit als grondstof kan worden ingezet voor de productie van smeermiddeladditieven. Door een gasnetwerk aan te leggen hoeft de CO<sub>2</sub> niet vloeibaar te worden gemaakt, wat veel energie-intensiever is om te produceren dan gas. Deze pilot was op technisch gebied een succes, waardoor het kan worden opgeschaald naar een capaciteit van 12.000 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

Het innovatiecluster Nov@log is opgezet om samenwerking en efficiënte organisatie van logistiek en grondstoffen te stimuleren binnen het cluster van Le Havre, Rouen en Parijs<sup>5</sup>. Voorbeelden van projecten zijn recycling van textiel en oude autobanden. Le Havre heeft daarnaast een grote (petro)chemische industrie. Hoewel Le Havre momenteel nog niet veel met chemische recycling lijkt te doen, zijn de omstandigheden er zeer geschikt voor.

### Swindon en Binn Farm, Verenigd Koninkrijk

In deze twee plaatsen in het Verenigd Koninkrijk zijn feedstockrecyclingplants aangekondigd. Swindon wil de leidende hub voor kunststofrecycling in Engeland worden<sup>6</sup> en Binn Farm heeft vergelijkbare ambities voor Schotland<sup>7</sup>. De faciliteit in Binn Farm zal een verwerkingscapaciteit van tussen 15 en 25 kton krijgen. De faciliteit in Binn Farm ligt nabij grote haven Forth Ports en petrochemisch cluster in Grangemouth. Daarmee bevindt het zich in een geschikte omgeving om door te groeien en een afvalhub te worden.

### Ludwigshafen, Duitsland en Antwerpen, België

Chemiebedrijf BASF heeft zowel in Ludwigshafen als in Antwerpen grote en efficiënte chemische clusters onder de naam Production Verbund. Binnen het Verbund in Ludwigshafen is in het kader van het ChemCycling-project feedstockrecycling toegepast<sup>8</sup>. Zowel Ludwigshafen als Antwerpen qua haven en industrie zeer geschikte plekken om (chemische) recycling en de chemische industrie met elkaar te verbinden. BASF lijkt met haar ambities en Production Verbunds de aangewezen speler om chemische recycling aan te jagen.

### Barcelona, Spanje

Catalonië heeft verreweg de grootste kunststoffenindustrie in Spanje<sup>9</sup> en zet de laatste jaren steeds meer in op materiaalherwinning<sup>10</sup>. Daarnaast is het gunstig gelegen aan een grote haven. De chemische sector is de sector met de meeste export<sup>11</sup>.

<sup>3</sup> <http://www.ce-force.eu>

<sup>4</sup> <https://www.veolia.com/en/newsroom/thematic-reports/veolia-committed-climate/our-climate-solutions/what-if-we-recycled-co2>

<sup>5</sup> <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/IA%20Le%20Havre%20%20Nova@log.pdf>

<sup>6</sup> <https://recyclingtechnologies.co.uk/2019/01/swindon-borough-council-plans-to-lead-the-way-for-plastic-recycling-in-england/>



## 2.2 Recycling en broeikasgasemissiereductie

De haven van Rotterdam is één van de belangrijkste veroorzakers van broeikasgasemissies in de EU en de industrie zal in toenemende mate geraakt worden door Europees beleid gericht op verlaging van broeikasgasemissies (Wuppertal Instituut, 2016). Dit voorzienend heeft het havencomplex in 2007 al emissiereductiedoelen gesteld in het kader van het Rotterdam Climate Initiative. Deze doelstellingen zijn 50% reductie in 2025 en 60% reductie in 2030, ten opzichte van ijkjaar 1990 (Havenbedrijf Rotterdam, 2011). Met het huidige pad van ontwikkeling worden die doelstellingen niet gehaald (Havenbedrijf Rotterdam, 2017). De emissies zijn sinds 2014 sterk toegenomen, door de ingebruikneming van twee nieuwe kolencentrales. Om de doelstellingen te halen, zullen dus extra maatregelen moeten worden genomen.

In het kader van het klimaatakkoord heeft de werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk (2018) gekeken naar een duurzame energietransitie van haar industrie. Chemische recycling draagt in deze transitieagenda in de periode 2030-2050 ongeveer 12% bij aan de totale CO<sub>2</sub>-besparing. Eerdere ontwikkelingen zijn gericht zijn op uitbreiding van warmte-, stoom- en CO<sub>2</sub>-netten en vergaande elektrificatie van de industrie. Dit legt de basis voor de ontwikkeling van het industriecluster tot een internationaal recycle-, biomassa- en waterstofhub. Momenteel zijn er al verschillende initiatieven en clusters gevormd in het industriecluster die chemische recycling toepassen (Paragraaf 2.3). Afhankelijk van hoe succesvol deze initiatieven zijn en hoeveel investeringen er worden gedaan, kan chemische recycling naar alle waarschijnlijkheid al vóór 2030 substantiële emissiereductie realiseren.

Hoogwaardige recycling (zowel mechanisch als chemisch) verschaft de haven van Rotterdam de mogelijkheid om bij te dragen aan zowel de circulaire als de emissiereductieambities. Recycling staat in nauw verband met verlaging van broeikasgasemissies. Oorzaken hiervan zijn dat de energievraag van gerecycled materiaal vaak vele malen kleiner is dan die van primair materiaal en dat de productie van primaire materialen zoals metalen, cement en chemicaliën vaak zeer energie-intensief is. Het is daarom ook moeilijk en kostbaar om deze los te koppelen van directe CO<sub>2</sub>-emissies.

De Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk (2018) schat de totale broeikasgas-emissiereductie in 2030 door verschillende vormen van recycling en productie van biobased specialty chemicals op 0,3 tot 1,0 miljoen ton (megaton; Mton) CO<sub>2</sub>-eq. per jaar. Hiervan wordt 0,3 Mton aan chemische recycling toegekend. CE Delft (2018a) heeft in eerder onderzoek geraamd dat de toepassing van chemische recycling in heel Nederland kan leiden tot een reductie van 1,6 Mton CO<sub>2</sub>-eq. bij import van reststromen uit omliggende landen. Doorrekening van de keten laat zien dat deze emissiereductie ongeveer voor de helft plaatsvindt in Nederland en voor de helft in de landen waaruit geïmporteerd zou worden. Hiermee lijkt de bijdrage van recycling aan emissiereductie in de kunststofketen groter te worden dan die van biobased, wat aansluit bij het streefbeeld 2030 in de Transitieagenda Kunststoffen (Rijksoverheid, 2018).

<sup>7</sup> <https://www.zerowastescotland.org.uk/press-release/ beacon-hope-recycling-major-funding-agreement-signed-plastics-plant>

<sup>8</sup> [https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2018/12/p-18-385.html#WT.mc\\_id=P\\_385](https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2018/12/p-18-385.html#WT.mc_id=P_385)

<sup>9</sup> [http://empresa.gencat.cat/web/.content/01\\_-\\_informacio\\_departamental/01\\_-\\_departament/publicacions/industria/papers\\_d\\_economia\\_industrial/documents/arxiu/21\\_angles.pdf](http://empresa.gencat.cat/web/.content/01_-_informacio_departamental/01_-_departament/publicacions/industria/papers_d_economia_industrial/documents/arxiu/21_angles.pdf)

<sup>10</sup> [https://www.barcelonactiva.cat/barcelonactiva/images/en/WEB-Sectors-Estrategics-2018-EN\\_tcm103-48984.pdf](https://www.barcelonactiva.cat/barcelonactiva/images/en/WEB-Sectors-Estrategics-2018-EN_tcm103-48984.pdf)

<sup>11</sup> [http://www.catalannews.com/highlights/item/catalan-chemical-and-plastic-sectors-leading-in-spain?category\\_id=32](http://www.catalannews.com/highlights/item/catalan-chemical-and-plastic-sectors-leading-in-spain?category_id=32)



## 2.3 Bestaande onderzoeksprojecten rondom chemische recycling en biobased productie in de regio

Rondom (chemische) recycling en biobased productie lopen in het industriecluster een aantal concrete projecten:

- **Waste to Chemicals:** Een samenwerking van Enerkem/Air Liquide/Nouryon/Port of Rotterdam/Shell, om in Rotterdam 360.000 ton per jaar aan mixed afval (waaronder plastic) om te zetten naar 220.000 ton (bio-)methanol.
- **Pryme:** Pryme realiseert een grote demo-installatie in Plant One waarbij afvalplastics worden omgezet in grondstoffen voor de chemische industrie.
- **Ioniqa-PET:** Ioniqa heeft een demo-installatie in Plant One en realiseert een 10 kiloton fabriek te Geleen om PET-afval om te zetten in nieuwe grondstof. Een partnership met Unilever, Indorama en Coca Cola biedt perspectieven voor verdere doorgroei in onder andere Rotterdam.

Naast bovenstaande concrete initiatieven zijn er meerdere kleinere initiatieven in ontwikkeling die het cluster verder kunnen gaan aanvullen en pleegt het Havenbedrijf acquisitie om te komen tot de door haar gewenste circulaire haven c.q. recyclinghub.

## 2.4 Deelconclusies

Om de gestelde broeikasgasemissiereductie waar te maken, zullen Rotterdam en het industriecluster in het havengebied flinke stappen moeten zetten. Recycling, chemisch en mechanisch, kan zowel bij het halen van de doelstellingen op het gebied van emissiereductie als die van vermindering van fossiele grondstoffen een belangrijke bijdrage leveren. De regio Rotterdam heeft verschillende kansen te benutten:

- zowel de stad als de haven hebben sterke ambities op het gebied van circulariteit van grondstoffen en broeikasgasemissiereductie, die op elkaar aan kunnen sluiten;
- er zijn verschillende consortia actief die innovatieve initiatieven op het gebied van recycling stimuleren. Dit vormt de basis voor het duurzame cluster van de toekomst;
- de reeds aanwezige industrie en de vooraanstaande rol van de haven bieden mogelijkheden voor vruchtbare samenwerkingen, via industriële symbiose binnen het industriecluster of via selectieve import van circulaire grondstoffen in de vorm van afvalstromen.

# 3 Volumes kunststofafval in Noordwest-Europa

In dit hoofdstuk onderzoeken we de kunststofafvalstromen die momenteel beschikbaar zijn en hoeveel potentieel gerecycled kan worden door Rotterdam. We presenteren de cijfers op verschillende schaalniveaus: regio Rotterdam, landelijk en Noordwest-Europa (België, Duitsland, Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken). Hierbij richten we ons primair op kunststoffen, omdat die als hoogcalorische en koolstofrijke reststroom zeer geschikt zijn om als circulaire grondstof te dienen.

## 3.1 Gescheiden en ongescheiden kunststofafval

Tabel 1 presenteert een overzicht van de totale hoeveelheid kunststoffen die aanwezig zijn in afval in de regio Rotterdam, Nederland en de omliggende landen in West-Europa. De cijfers voor de regio Rotterdam komen uit het rapport Gemeentelijk Afval naar Chemische Recycling (KplusV, 2018), de cijfers voor Nederland van het CPB (2017) en voor Noordwest-Europese buurlanden van nationale overheden.

Een deel van de kunststoffen is in theorie per direct beschikbaar en een deel is niet beschikbaar. Met 'beschikbaar' worden hier stromen bedoeld die momenteel al uit bron- en nascheiding beschikbaar komen. In de praktijk zijn deze stromen slechts ten dele direct te gebruiken. Een groter deel hiervan is in de praktijk (nog) niet te gebruiken, omdat ze vrijkomen in andere regio's of omliggende landen waar ze al door lokale recyclers worden benut. De kunststoffen die momenteel ongescheiden in restafval achterblijven en worden verbrand of gestort worden hier als 'niet beschikbaar' beschouwd.

In de nationale cijfers zijn de apart aangeboden kunststoffen van alle sectoren meegenomen. Daarnaast is de hoeveelheid ongescheiden kunststof in het huishoudelijk en soort aardig afval berekend op basis van nationale gemiddelde kunststofpercentages in restafval voor ieder land. In de regionale cijfers voor Rotterdam is alleen het gescheiden en ongescheiden kunststof in huishoudelijk en soort aardig afval meegenomen, omdat voor specifieke sectoren (industrie, commercieel) op regionale schaal geen cijfers zijn gevonden. De resulterende selectie is niet allesomvattend, maar geeft goede dekking.



Tabel 1 - Indicatie huidige kunststofstromen gescheiden en ongescheiden, Mton/jaar

Land	Gescheiden via bron- en nascheiding (Mton)	Ongescheiden via restafval (Mton)	Afvalstromen kunststof totaal (Mton)
Regio Rotterdam <sup>a</sup>	0,1	0,1	0,2
Nederland (excl. Huishoudelijk afval uit de Regio Rotterdam) <sup>b</sup>	0,7	0,7	1,4
België <sup>b</sup>	0,7	0,5	1,2
Duitsland <sup>b</sup>	2,4	3,3	5,7
Verenigd koninkrijk <sup>b</sup>	1,5	3,0	4,5
Frankrijk <sup>b</sup>	1,7	2,3	4,0
Denemarken <sup>b</sup>	0,1	0,2	0,3
<b>Totaal</b>	<b>7,3</b>	<b>10,1</b>	<b>17,4</b>

<sup>a</sup> *Stromen alleen afkomstig van huishoudelijk en soortaardig afval.*

<sup>b</sup> *Stromen bron- en nagescheiden afval afkomstig van alle sectoren, stromen ongescheiden afval alleen afkomstig van huishoudelijk en soortaardig afval.*

Bron: Berekening o.b.v. (CPB, 2017; StatBel, 2016; OVAM, 2017; Umwelt Bundesamt, 2017; Defra, 2019; Defra, 2018; MTES, 2017; MST, 2017; Cimpan, et al., 2015; KplusV, 2018).

In totaal komt er dus jaarlijks circa 7 Mton kunststofafval vrij in Noordwest-Europa. Een deel hiervan (grotendeels de helft<sup>12</sup>) is makkelijk te recyclen als monostromen en gaat daarom naar mechanische recycling. De rest bestaat echter uit gemengde stromen die niet makkelijk mechanisch te recyclen zijn. Hiervoor is chemische recycling een goede aanvulling op mechanische recycling.

De circa 10 Mton kunststof in restafval, nu nog niet beschikbaar, kan aangeboord worden als bron- of nascheidingspercentages toenemen. Op dit moment zijn die scheidingspercentages voor Nederland grotendeels 50% voor kunststof verpakkingsafval. Deze percentages kunnen omhoog (in België worden voor flessen en flacons recyclingpercentages van 70 á 80% gerapporteerd), maar dit hangt ook sterk samen met andere verbeteringen in afvalscheiding. Zo kan nascheiding van kunststoffen makkelijker worden als GFT (de 'natte fractie') niet in het restafval terecht komt.

Nederland loopt voorop op het vlak van nascheiding en de nieuwe nascheidingsinstallatie bij AVR zal naar verwachting de regionale (en landelijke) nascheidingspercentages verder opstuwten. Een toenemende vraag naar secundaire grondstof zal een mogelijkheid creëren tot het exporteren van Nederlandse kennis op het gebied van nascheiding naar buurlanden.

Een aandachtspunt is dat de huidige inzameling en scheiding van kunststofafval zeer sterk op verpakkingen is gericht. Dit beslaat circa 50% van de kunststofstroom en bestaat vooral uit PE, PP en PET. Door de productenverantwoordelijkheidssystemen (EPR) wordt in heel Europa gestuurd naar steeds meer scheiding. Kunststofafval uit producten wordt nog veel minder apart gehouden voor recycling, ook al wordt er voor bijvoorbeeld kunststoffen behuizingen van elektrische apparaten steeds meer inzameling georganiseerd. Ook binnen voertuigen en bouw richt men zich meer op recycling.

<sup>12</sup> Zie de Raamovereenkomst Verpakkingen in Nederland: <https://www.kidv.nl/3664/raamovereenkomst-verpakkingen.html>

#### Koolstofrijke afvalstromen naast kunststof

Veel nieuwe technieken voor chemische recycling richten zich op kunststof als feedstock (zie ook Hoofdstuk 4). Voor technieken als pyrolyse en vergassing is het echter mogelijk om andere koolstofhoudende fracties als feedstock te gebruiken, zoals textiel en papier. Er bestaan stromen van deze materialen die vooralsnog niet gerecycled worden, maar die mogelijk toegepast kunnen worden bij nieuwe verwerkingstechnieken. Enerzijds zijn dit feedstockrejets (uitvallen van gerichte textiel- en papierrecycling), anderzijds zijn dit fracties textiel en papier die nu via het restafval aangeboden worden, maar die met betere bron- en nascheiding beschikbaar zouden kunnen komen.

Het restafval in Nederland bedraagt circa 19% papier en karton, en 7% textiel (Rijkswaterstaat, 2019). Net als bij kunststoffen is hierbij vooral de uitval uit de sortering en recycling van deze stromen interessant voor chemische recycling. In Nederland beslaat dit 2% van de stroom aan oud papier (voornamelijk papier in een gesalde kunststof hoes) (PRN, 2016) en 7% van de stroom textiel (KplusV, 2018).

Tabel 2 presenteert een overzicht van de potentiële uitval van textiel- en papierrecycling op verschillende schaalniveaus (Denemarken en Frankrijk in dit geval buiten beschouwing gelaten).

Tabel 2 - Huidige textiel- en papier- en kartonstromen uit rejets van sortering en in restafval, in Mton/jaar

Locatie	Rejets van recycling		Ongescheiden in restafval	
	Textiel (Mton)	Papier en karton (Mton)	Textiel (Mton)	Papier en karton (Mton)
Regio Rotterdam	<<0,1	<<0,1	<0,1	0,1
Nederland (excl. Regio Rotterdam)	<<0,1	<0,1	0,1	0,3
België, Duitsland, VK	<0,1	0,2	1,8	5,0
<b>Totaal</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>2,0</b>	<b>5,5</b>

Bron: Berekening o.b.v. (KplusV, 2018; CE Delft, 2018; OVAM, 2017; Destatis, 2016; Defra, 2018; WRAP, 2017).

Met name de hoeveelheden textiel, papier en karton die momenteel nog ongescheiden in restafval aanwezig zijn vormen een substantiële feedstock voor chemische recycling. Ook deze bron kan aangeboord worden door betere nascheiding.

## 3.2 Deelconclusies

Gemengde afvalstromen kunnen vrijwel niet gerecycled worden. Met het oog op circulariteit van grondstoffen is het essentieel dat afvalstromen in hoge mate gescheiden worden via bron- of nascheiding. Op basis van de gevonden cijfers kunnen we de volgende conclusies trekken:

- Er wordt in Rotterdam ongeveer 0,1 Mton gescheiden kunststof ingezameld. Grofweg eenzelfde hoeveelheid wordt niet gescheiden, maar belandt met het restafval in de verbrandingsoven.
- De totale hoeveelheid gescheiden ingezameld kunststof in Nederland bedraagt 0,8 Mton. In de omringende landen (BE, DE, VK, FR, DK) wordt gezamenlijk 6,5 Mton gescheiden ingezameld.
- Gemiddeld wordt minder dan de helft van de afgedankte kunststoffen gescheiden aangeboden bij verwerkers. Dit zijn vooral verpakkingen. Alleen dit afval kan momenteel als beschikbaar voor recycling worden beschouwd. Dat betekent dat een grote hoeveelheid kunststoffen niet gerecycled kan worden. Om deze bron aan te boren moeten scheidingspercentages omhoog en moeten de inzamelsystemen zich ook richten op niet-verpakkingen. Stimulatie van verbeterde bron- en nascheiding vanuit de gemeenten kan daaraan bijdragen.



- Voor bepaalde vormen van chemische recycling is het mogelijk om een breed scala aan koolstofhoudende afvalstromen te verwerken. Voorbeelden van potentieel bruikbare stromen zijn papier, karton en textiel die niet gerecycled kunnen worden en afkomstig zijn uit rejets van sortering en uit restafval. De totale hoeveelheid die in die stromen aanwezig zijn in Nederland, België, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk is ongeveer 2,0 Mton textiel en 5,7 Mton papier en karton. Ook in dit geval kunnen gemeenten sturen op het aanboren van deze stromen.



## 4 Technieken en klimaatimpact

De afvalstromen die in Hoofdstuk 3 zijn geïdentificeerd kunnen door middel van verschillende technieken verwerkt worden tot nieuwe grondstoffen of andere producten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste verwerkingstechnieken. We kijken eerst kort naar algemene nascheidingstechnieken voor restafval, die in heel Europa toegepast zouden kunnen worden om meer kunststof als chemische feedstock te leveren (Paragraaf 4.1). Vervolgens introduceren en vergelijken we de belangrijkste verwerkingstechnieken die in Rotterdam opgezet zouden kunnen worden, waaronder verbranding AEC's, mechanische recycling en chemische recycling (Paragraaf 4.2).

### 4.1 Overzicht nascheidingstechnieken restafval

Zoals aangegeven werd in Hoofdstuk 3 bevindt een groot deel van de afgedankte kunststoffen zich in restafval dat niet nagescheiden wordt. Deze potentiële input voor hoogwaardige recycling verdwijnt uit het economische systeem, bijvoorbeeld via verbranding in afvalenergiecentrales (AEC's).

Om deze stromen beschikbaar te maken voor mechanische of chemische recycling zou nascheiding van restafval toegepast kunnen worden. Tabel 3 geeft een overzicht van hiervoor beschikbare technieken uit een eerdere analyse van CE Delft.

Tabel 3 - Nascheidingstechnieken met ontwikkelingsniveau

Techniek	Ontwikkelaar(s)	Toepasbaar op	Ontwikkelingsniveau
Mechanische scheiding, thermochemische recycling	RenaSci	Niet-gescheiden afval (plastics, residu)	Gevalideerd concept
Autoclaving, mechanische scheiding	Bio-elektra, Autothermal	Niet-gescheiden afval	Proefinstallatie
Natte scheiding, natte vergisting	REnescience (Ørsted)	Niet-gescheiden afval	Commercieel
Droge scheiding, droge vergisting	OMRIN/Attero/AEB	Niet-gescheiden afval	Commercieel
Droge scheiding, droge vergisting incl. compostproductie	OWS	Niet-gescheiden afval	Commercieel
Droge scheiding zonder biologische behandeling	HVC/AVR	Niet-gescheiden afval	Commercieel
Biologisch drogen, mechanische scheiding	IOK/IVAREM	Niet-gescheiden afval	Commercieel

Hierbij kan opgemerkt worden dat Tabel 3 zich richt op terugwinning van materialen uit restafval, en dus geen volledig beeld van alle potentieel interessante technieken geeft. Er zijn echter ook bedrijven die technieken ontwikkelen om kunststof terug te winnen uit andere afvalstromen, zoals uit elektronische apparatuur. Daarnaast wordt ook de verdere sortering van plastics (naar specifieke polymeertypes) nog verbeterd.

## 4.2 Overzicht verwerkingstechnieken

Tabel 4 geeft de verwerkingstechnieken weer die gebruikt kunnen worden om kunststoffen om te zetten in nieuwe producten. We richten ons hier op een beschrijving van het proces, de geschikte inputmaterialen en de producten.

Hoewel de focus ligt op technieken die op kunststof toepasbaar zijn, kunnen sommige ook met ander (koolstofrijk) inputmateriaal. Voor specifieke stromen die niet (alleen) uit kunststof bestaan zijn echter ook andere verwerkingsroutes mogelijk die hier niet opgenomen zijn (bijvoorbeeld de conventionele recycling van papier, maar ook innovatieve verwerking van drankkartons). Het overzicht in deze tabel is kortom niet uitputtend. Er zijn bijvoorbeeld nog veel andere aanbieders van pyrolysetechnieken.

Tabel 4 - Overzicht verwerkingstechnieken voor (kunststof) afvalstromen

Techniek	Procesomschrijving	Ontwikkelaars	Geschikte input(s)	Mogelijke output(s)	Opmerkingen
AEC	Verbranding in afvalenergiecentrale met energierugwinning		Alle stromen	Elektriciteit, warmte, CO <sub>2</sub>	Milieuprestaties afhankelijk van o.a.: Energetisch rendement, opwerking bodemassen, CO <sub>2</sub> -afvang.
Vergassing (lage temperatuur)	Verwarmen materiaal bij toevoer zuurstof tot -800-1.000 °C	Royal Dahlmann, BTG	Kunststoffen, biomassa	Syngas	
Vergassing (medium temperatuur)	Verwarmen materiaal bij toevoer zuurstof tot -900-1.650 °C	Enerkem	Biomassa, residu-stromen	Syngas	Syngas van hogere kwaliteit dan lagetemperatuurvergassing.
Pyrolyse (1 <sup>e</sup> /2 <sup>e</sup> generatie)	Verwarmen materiaal zonder zuurstof tot -400-600 °C	Mitsui Recycling R21, Sweep, Technip-BTG, POR-Engie, Splainex, (Sea-ways)PyrOil, BlueAlp (PetroGas)	Gescheiden kunststoffen (PE, PP), biomassa, residu-stromen	Diesel, nafta, syngas, pyrolyse-olie	Milieuprestatie o.a. afhankelijk van input; als feedstock veel zuurstof bevat (bijv. PET, biomassa) kan het nodig zijn waterstof toe te voegen. Verhoudingen tussen outputs afhankelijk van procesinstellingen.
Geïntegreerde hydrolyse (3 <sup>e</sup> generatie)	Pyrolyse in de aanwezigheid van intern opgewerkte waterstof/syngas op 300 à 600 °C	Green Modem, Fraunhofer (Susteen), IH2 (Shell), Energy, PRYME	Gescheiden kunststoffen (PE, PP, PUR, PS), biomassa, residu-stromen	Diesel, nafta, syngas	Geïntegreerde hydrolyse kan producten van hogere kwaliteit produceren dan conventionele pyrolyse. Verhoudingen tussen outputs afhankelijk van procesinstellingen.
Depolymerisatie	Afbreken kunststof tot monomeer, bijv. met magnetische vloeistoffen en katalysatoren	Ioniqa, Cumapol, ICL-IP	Gescheiden gekleurde kunststof, o.a. PET, EPS	Monomeren	
Zuivering met oplosmiddelen	Selectieve polymeerextractie met oplosmiddelen	Synbra, CreaSolv, Indigo (Sea-Ways)	Gemengde kunststoffen	Kunststof	
Mechanische recycling	Smelten, filteren en omvormen kunststof		Kunststof	Gerecycled kunststof	Kwaliteit output o.a. afhankelijk van vervuilingen input.

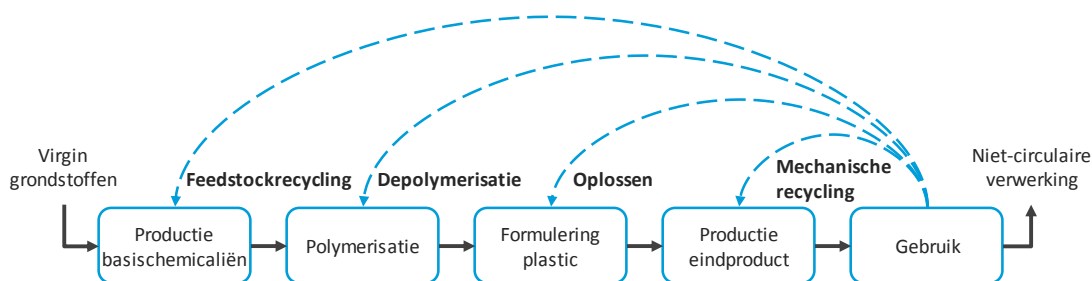
De hier onderzochte technieken kunnen in drie groepen worden ingedeeld: verbranding (AEC), mechanische recycling, en chemische recycling, zoals weergegeven in Tabel 5.

Chemische recycling wordt vaak verder opgedeeld in verschillende categorieën, zoals:

- zuivering op basis van oplosmiddelen<sup>13</sup> ('solvent-based purification', 'solvolyse');
- depolymerisatie;
- pyrolyse ('kraken');
- vergassing.

Zowel mechanische recycling als alle vormen van chemische recycling kunnen ingezet worden om afgedankte kunststoffen in een gesloten cyclus om te zetten tot nieuwe kunststoffen. De technieken verschillen echter in waar de outputs van het proces terugkomen in de productieketen, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 4 (Crippa, et al., 2019). Merk op dat in deze figuur vergassing en pyrolyse zijn opgenomen in de categorie feedstockrecycling, aangezien ze allebei kunststoffen afbreken tot simpele basischemicaliën.

Figuur 4 - Varianten van recycling in de kunststofkringloop. Op basis van Crippa et al. (2019)



Tabel 5 geeft een overzicht van de indeling van de beschikbare technieken, inclusief indicaties van het technologische ontwikkelingsniveau en de klimaatimpact. De klimaatimpact per technologie is gebaseerd op eerder onderzoek van CE Delft (2017b); (2018a). Hierin zijn *screening* levenscyclusanalyses (LCA's) uitgevoerd om de klimaatimpact per technologie te bepalen. De getallen, uitgedrukt in ton CO<sub>2</sub>-equivalenten (eq.) per ton verwerkt kunststofafval, geven de totale klimaatimpact weer van zowel het proces zelf (directe emissies, gebruikte energie en hulpmiddelen) als van de nuttige producten (materialen, energie) die het proces oplevert<sup>14</sup>. In Tabel 5 wordt de klimaatimpact weergegeven als het verschil tussen het recyclingsproces en verwerking in een AEC; hogere waarden komen dus overeen met meer CO<sub>2</sub>-emissiereductie.

Vanuit milieukundig en technisch oogpunt zijn er belangrijke verschillen tussen de beschikbare technieken die we hier bespreken. Verbranding in AEC's sluit het minst goed aan bij een circulaire economie. Hoewel het proces energie oplevert die conventionele opwekking voorkomt, zorgt het netto nog steeds voor een klimaatimpact. Dit is daarom de referentie waartegen de milieuprestaties van de andere technieken wordt afgezet. Wel is het zo dat

<sup>13</sup> Omdat bij deze zuivering de polymeerstructuur intact blijft, kan deze techniek ook gezien worden als een vorm van mechanische recycling. In lijn met Crippa et al. (2019) scharen we de techniek hier onder chemische recycling, aangezien chemicaliën nodig zijn voor het proces en de samenstelling van het kunststof als geheel wel aangepast wordt (de polymeren worden bijvoorbeeld gescheiden van additieven).

<sup>14</sup> In deze LCA's wordt aangenomen dat de producten op de markt afgezet worden en daarmee de conventionele productie van deze materialen en energiedragers vermindert. De totale klimaatimpact van het recyclingproces wordt daarom bepaald door de klimaatimpact van de conventionele productie van de producten af te trekken van de klimaatimpact van het recyclingproces. De totaalwaarde kan hierdoor negatief uitvallen.

de klimaatimpact verlaagd kan worden door de energierendementen te verhogen (met name meer warmte afzetten) of door CO<sub>2</sub> af te vangen.

Mechanische recycling kost relatief weinig energie en zorgt voor een relatief korte recyclingketen (Figuur 4), waardoor de outputs zonder veel omzettingstappen weer in te zetten zijn in nieuwe producten. Doordat hiermee de productie van virgin materialen voorkomen kan worden, zorgt mechanische recycling voor een verlaging van de klimaatimpact ten opzichte van verbranding in AEC's. Een nadeel is echter dat de kwaliteit van de outputs van mechanische recycling afhangt van de zuiverheid van de inputs. Dit betekent dat stromen afgedankte kunststoffen goed gesorteerd moeten zijn. Desalniettemin zorgt mechanische recycling doorgaans voor vermenging, vervuiling en degradatie van de polymeren, waardoor de kwaliteit (en prijs) van mechanisch gerecycled materiaal lager ligt dan virgin materiaal. Voor de belangrijkste polymeersoorten (met name in verpakkingsmateriaal) bestaan ver ontwikkelde sorteer- en (mechanische) recyclingsystemen.

Chemische recycling biedt een aantal voordelen ten opzichte van mechanische recycling. Omdat de kunststoffen verder worden afgebroken, kunnen vervuiling en additieven in de inputstroom beter verwijderd worden, wat een hogere kwaliteit van het eindproduct oplevert. Dit betekent bijvoorbeeld dat vervuilde of gekleurde kunststoffen weer omgezet kunnen worden in kunststof geschikt voor voedseltoepassingen. Daarnaast kunnen processen zoals vergassing en pyrolyse, afhankelijk van het proces, beter omgaan met kunststofstromen die uit verschillende polymeersoorten bestaan. De flexibiliteit qua inputs betekent dat technieken voor chemische recycling ingezet kunnen worden op stromen waar mechanische recycling minder geschikt is. De hogere kwaliteit van de outputs maakt daarnaast 'upcycling' mogelijk.

Een kanttekening hierbij is echter wel dat technieken voor feedstockrecycling (vergassing en pyrolyse) de polymeren zo ver afbreken dat ze ook voor andere toepassingen geschikt worden. Veel pyrolyseaanbieders produceren bijvoorbeeld vooral diesel van MGO-kwaliteit (marine gasoil). Hoewel hiermee dieselproductie uit fossiele grondstoffen voorkomen wordt, verdwijnt de koolstof uit de kunststofkringloop. Daarnaast geldt dat chemische recycling minder ver ontwikkeld is dan mechanische recycling en dat de technieken vaak zorgen voor een hogere klimaatimpact. Wanneer rekening gehouden wordt met het soort outputs dat de verschillende processen maken, lijkt de klimaatimpact grofweg overeen te komen met de grootte van de cycli in Figuur 4; hoe verder de kunststof wordt afgebroken, hoe kleiner het klimaatvoordeel. De technieken die de kunststof verder afbreken zijn echter over het algemeen wel minder selectief in de inputstromen (ze kunnen sterker gemengde feedstocks verwerken). Zelfs de technieken voor chemische recycling met het kleinste klimaatvoordeel scoren echter beter dan verbranding in AEC's.

Tabel 5 - Overzicht eigenschappen verwerkingstechnieken voor kunststofafval

Categorie	Techniek	Geschikte input(s)	Mogelijke output(s)	Indicatie ontwikkelingsniveau	Verwachte reductie klimaatimpact t.o.v. AEC <sup>a</sup> , ton CO <sub>2</sub> -eq./ton kunststofafval
Verbranding	AEC	- Alle stromen	- Elektriciteit - Warmte - CO <sub>2</sub>	Commercieel	0/n.v.t.
Chemische recycling	Vergassing	- Kunststoffen - Biomassa	- Syngas	Proefinstallaties/ commercieel	1,9



		- Residustromen			
	Pyrolyse (1ste/2de generatie)	- Gescheiden kunststoffen - (PE, PP) - Biomassa - Residustromen	- Diesel - Nafta - Syngas - Pyrolyse-olie	Proefinstallaties/ commercieel	1,8
	Geïntegreerde hydrolyse (3de generatie)	- Gescheiden kunststoffen (PE, PP, PUR, PS) - Biomassa - Residustromen	- Diesel - Nafta - Syngas	Gevalideerd concept	2,2
	Depolymerisatie	- Gescheiden gekleurde kunststof, o.a. PET, EPS	- Monomeren	Gevalideerd concept	2,7 <sup>b</sup>
	Zuivering met oplosmiddelen	- Selectieve polymeer-extractie met oplosmiddelen	- Gescheiden gekleurde kunststof, o.a. PET, EPS	Monomeren	-3,2 <sup>c</sup>
Mechanische recycling	Mechanische recycling	- Gescheiden kunststof	- Gerecycled kunststof	Commercieel	2,5 tot 4,1
	Mechanische recycling	- Mixed kunststof	- Gerecycled kunststof	Commercieel	2,1

a Indicatie op basis van eerder onderzoek van CE Delft (2017b) (2018a). Met name de score voor zuivering met oplosmiddelen is onzeker.

b Waarde bepaald voor depolymerisatie en AEC-verwerking van PET-kunststof.

c Waarde bepaald voor zuivering met oplosmiddelen en AEC-verwerking van EPS-kunststof.

### 4.3 Deelconclusies

Uit dit hoofdstuk volgt een aantal conclusies:

- Milieukundig heeft mechanische recycling de voorkeur boven de alternatieven, maar deze techniek kan niet voor alle afgedankte kunststoffen ingezet worden. Sommige stromen zijn te vervuild of te zeer vermengd (bijvoorbeeld laminaten), waardoor mechanische recycling een laagwaardig product oplevert (gemengde plastics) of niet mogelijk is (recyclinguitvallen). In deze gevallen kan chemische recycling uitkomst bieden. Eerste analyses geven aan dat depolymerisatie en zuivering met oplosmiddelen milieukundig dicht tegen mechanische recycling aan zitten.
- Chemische recycling maakt het mogelijk uit kunststofafval nieuw kunststof te maken met vergelijkbare eigenschappen als kunststof uit aardolie (geschikt voor alle toepassingen).
- Chemische recycling is milieukundig vooral interessant wanneer het ervoor zorgt dat afgedankte kunststoffen niet in een AEC terecht komen (bijvoorbeeld uitvallen van mechanische recycling) of als de kunststoffen niet volledig afgebroken worden (bijvoorbeeld bij depolymerisatie).
- De klimaatimpactreductie die gerealiseerd wordt door de outputs van feedstock-recycling (pyrolyse en vergassing) te gebruiken voor de productie van brandstoffen en kunststoffen is momenteel ongeveer even groot. Toepassing in brandstof zorgt er echter voor dat koolstof niet opnieuw gebruikt kan worden, terwijl toepassing in kunststof ervoor zorgt dat koolstof meerdere loops meekan.

# 5 Schaal chemie in Rotterdam

In een circulair productiesysteem bestaat de input voor productie voor een groot deel uit afvalstromen. Vanuit dat perspectief wordt in dit hoofdstuk de hoeveelheid kunststoffen die op dit moment in Rotterdam geproduceerd wordt bepaald.

Deze hoeveelheid komt grofweg<sup>15</sup> overeen met de hoeveelheid afgedankt kunststof die Rotterdam naar zich toe moet halen, om dezelfde schaal van productie mogelijk te maken. In de praktijk zal er bij recycling altijd uitval zijn en zal ook altijd virgin input nodig zijn. Er wordt van uitgegaan dat de benodigde virgin input ongeveer gelijk is aan de uitval, waardoor de benodigde stromen afgedankte kunststof gelijk zijn aan de kunststofproductie. Idealiter wordt de noodzakelijke virgin input in een circulair systeem (door uitval uit de keten) niet meer door fossiele maar door biobased grondstoffen geleverd (Figuur 2).

## 5.1 Kunststofproductie in Rotterdam

Er zijn geen eenduidige cijfers over de kunststofproductie en -consumptie in Nederland, of specifiek in Rotterdam. Het CPB rapporteert met grote voorzichtigheid dat er in Nederland grofweg 7.600 kton polymeren wordt geproduceerd (CPB, 2017). Dit is veel meer dan de 2.000 kton kunststof die in Nederland op de markt wordt gebracht, zoals vermeld staat in de Transitieagenda Kunststoffen (Rijksoverheid, 2018). Een reden hiervoor kan zijn dat een groot deel van de Nederlandse productie bestemd is voor export. Een andere reden hiervoor is dat veel kunststoffen op de markt worden gebracht via verwerking in andere producten, zoals bijvoorbeeld dashboards in auto's. Daarnaast wordt het verzamelen van gedetailleerde gegevens bemoeilijkt doordat, mede door de aanwezigheid van pijplijnen die bijvoorbeeld ethyleen en propyleen vervoeren door de Benelux en Duitsland, het niet zomaar te zeggen is dat kunststofproductie op één plek plaatsvindt. Het is verdeeld over verschillende plekken en fabrikanten die een verwerkingsstap zetten en niet per se allemaal in Nederland gelegen zijn.

Vanuit het perspectief van circulariteit is het interessant om te kijken hoeveel grondstoffen voor kunststofproductie (poly- en monomeren) in het industriële cluster van Rotterdam worden geproduceerd. Uit berekeningen op basis van cijfers van het Havenbedrijf Rotterdam in 'Facts & figures on the Rotterdam energy port and petrochemical cluster' (2016) blijkt dat de in 2015 een geïnstalleerde productiecapaciteit netto rond de 6 Mton kunststoffen, kunststofprecursors zonder vervolproduct, harsen en weekmakers bedroeg (zie Tabel 6 en Bijlage A). De reden dat we alleen kunststofprecursors zonder vervolproduct hebben meegenomen (en geen kunststofprecursors met vervolproduct), is om dubbeltellingen te voorkomen. Bij productie van een vervolproduct kan het namelijk goed zijn dat de grondstof hiervoor binnen het havengebied wordt ingekocht, waardoor een dubbeltelling in productie zou ontstaan.

<sup>15</sup> Het rendement waarmee afgedankte materialen omgezet kunnen worden in nieuwe grondstoffen verschilt per techniek. Bij sommige vormen van chemische recycling wordt bijvoorbeeld een deel van het inputmateriaal ingezet als brandstof om het proces draaiend te houden. Ook dienen in sommige gevallen hulpstoffen (bijvoorbeeld zuurstof, waterstof) te worden toegevoegd.



Tabel 6 - Geïnstalleerde productiecapaciteit van de chemische industrie in het Rotterdamse havengebied (Pernis, Botlek, Europoort, Hoek van Holland) (zie Bijlage A voor een uitgebreid overzicht)

Meegenomen productie	Geschatte hoeveelheid (Mton)
Alle chemicaliën	19,5
Aan kunststofproductie gerelateerde chemicaliën (zonder dubbeltellingen)	6,3
- excl. precursors van producten die op grote schaal binnen het havencomplex worden verwerkt <sup>a</sup>	
- incl. additieven en harsen <sup>b</sup>	

<sup>a</sup> Binnen het havengebied worden veel chemicaliën geproduceerd die een waarschijnlijke precursor zijn voor andere chemicaliën die binnen het havengebied worden geproduceerd worden (bijvoorbeeld benzeen en ethylbenzeen precursors kunnen zijn voor styreen).

<sup>b</sup> Additieven (bijvoorbeeld weekmakers) en harsen (bijvoorbeeld epoxyharsen) worden ook op grote schaal geproduceerd in het havengebied. Deze producten worden gebruikt in kunststofproductie en kunnen met chemische recycling ook weer als nieuwe grondstof dienen.

Bron: Berekeningen op basis van (Havenbedrijf Rotterdam, 2016).

In een volledig circulair systeem zou dus jaarlijks rond de 6 Mton afgedankt kunststof terug naar Rotterdam gebracht moeten worden.

## 5.2 Deelconclusies

De verscheidenheid aan cijfers en verspreiding van productie van halffabricaten en producten maken het lastig om met hoge precisie de kunststofproductie in de regio Rotterdam te schatten. Een aantal zaken wordt echter wel duidelijk:

- Op basis van cijfers van het Havenbedrijf Rotterdam komen we tot een eerste schatting van kunststofproductie van 6 Mton/jaar (Tabel 6).
- Om deze schaal van productie met circulaire grondstoffen te bevoorraden, is het nodig om minimaal dezelfde hoeveelheid kunststof (of andere koolstofrijke) afvalstromen naar Rotterdam te halen (zie Hoofdstuk 3 voor een inschatting van beschikbaarheid hiervan).
- De totale productiecapaciteit van de petrochemische industrie bedraagt bijna 20 Mton per jaar. Het deel dat wordt omgezet in brandstoffen, oplosmiddelen en andere moeilijk herwinbare producten kan vrijwel niet circulair gemaakt worden. Daarnaast zal de kunststofkringloop door uitval nooit volledig circulair kunnen zijn en zal er dus een vraag naar extra input blijven bestaan. Grondstoffen uit andere koolstofrijke afvalstromen, aangevuld met biobased bronnen of CCU kunnen gebruikt worden om aan deze grondstofvraag op een duurzame manier te voldoen.

## 6 Discussie

Nu de hoeveelheden afval, de technische mogelijkheden en de schaal van de Rotterdamse chemie in kaart zijn gebracht, kunnen we op hoofdlijnen conclusies trekken over welke rol kunststofafval (eventueel aangevuld met ander koolstofrijk materiaal) in de toekomst kan spelen als circulaire grondstof voor de chemie in Rotterdam.

### 6.1 Aansluiting aanbod kunststofafval op potentiële vraag Rotterdam

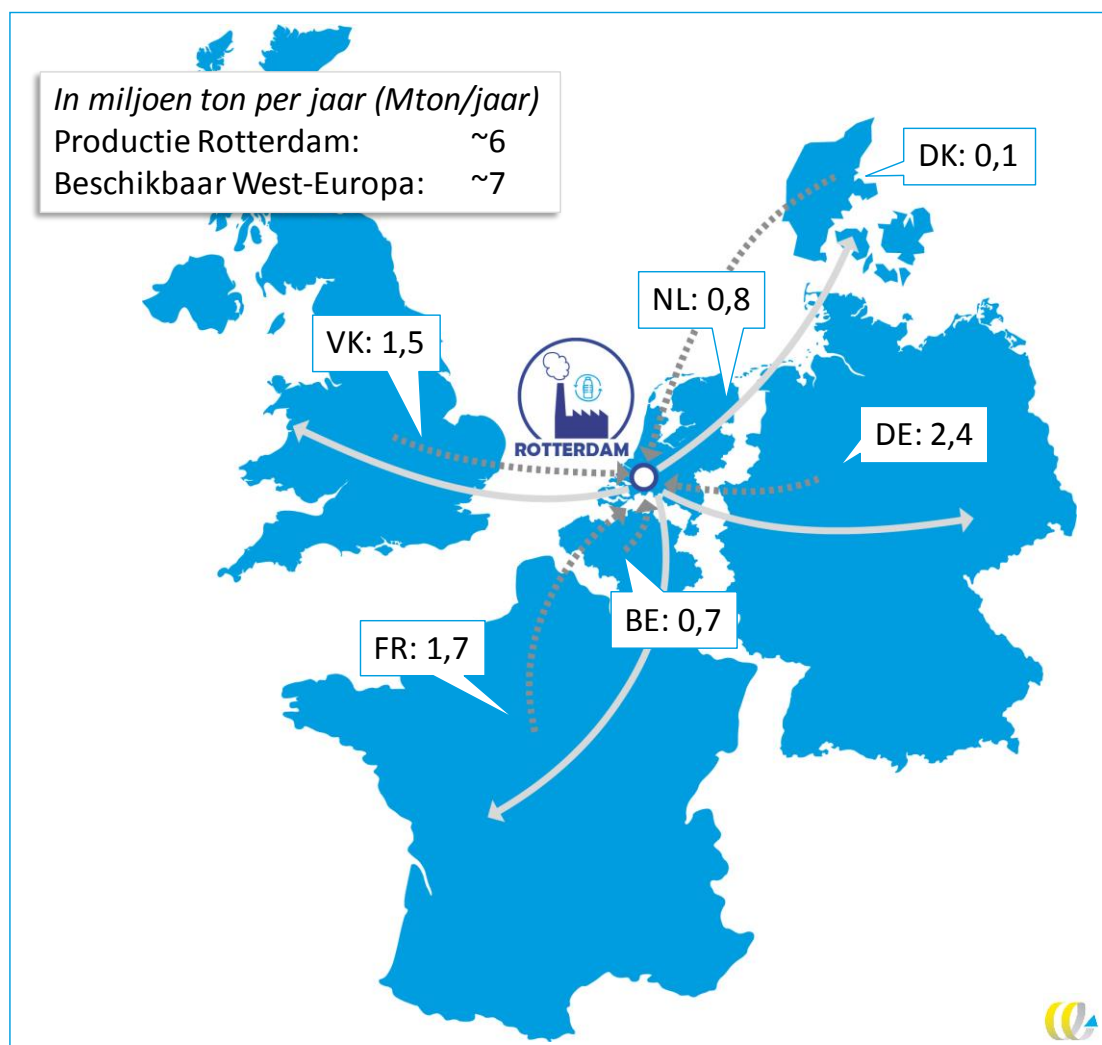
Uit Hoofdstuk 5 komt naar voren dat in de chemie in Rotterdam jaarlijks ca. 6 Mton aan kunststof(voorlopers) geproduceerd wordt. Dit komt grofweg overeen met de minimale hoeveelheid kunststofafval die benodigd zou zijn om volledig circulair te zijn zonder gebruik te maken van andere koolstofrijke afvalstromen (zoals textiel, papier en karton), afgevangen koolstof en biomassa. Dit zijn substantiële hoeveelheden (gesorteerd en geprepareerd) kunststofafval die geïmporteerd zouden worden. Hiermee neemt de afhankelijkheid van fossiele grondstoffen echter af en dit betekent ook dat een vergelijkbare hoeveelheid ruwe aardolie niet meer geïmporteerd hoeft te worden.

Bij import zal wel zeer nauwkeurig gekeken moeten worden naar opties met de grootste milieuwinst. Transportafstand, type afval en manier van verwerking moeten allen meegenomen worden in de afweging. Als dat gebeurt, kan het mes aan twee kanten snijden: Rotterdam heeft er een duurzame en stabiele bron van nieuwe grondstoffen bij en de exporterende landen zijn verzekerd van hoogwaardige en milieukundig verantwoorde afvalverwerking. Daarmee draagt Rotterdam bij aan regionale, nationale en Europese doelstellingen op het gebied van CO<sub>2</sub>-emissiereductie en circulariteit.

Rotterdam bevindt zich dan ook in de unieke gelegenheid gebruik te kunnen maken van het 'first-mover advantage': in andere landen is een grootschalige recycling hub nog niet sterk van de grond gekomen, terwijl veel technieken op het gebied van (chemische) recycling op het punt staan volwassen te worden.

In Hoofdstuk 3 is vastgesteld dat in heel Nederland jaarlijks ca. 0,8 Mton aan kunststofafval beschikbaar is via bron- en nascheiding. Als er uit buurlanden gescheiden kunststoffen geïmporteerd zouden kunnen worden, zou in theorie zo'n 7 Mton beschikbaar kunnen zijn. Dit is geïllustreerd in Figuur 5.

Figuur 5 - Theoretisch *benodigde* (om de aan kunststof gerelateerde petrochemische industrie in Rotterdam van recyclaat te voorzien) en *beschikbare* (reststromen uit bron- en nascheiding in Nederland en omliggende landen) hoeveelheden kunststof



Uiteraard is hierbij een aantal kanttekeningen op zijn plaats:

- Het overgrote deel van het gescheiden kunststof zal uitgesorteerd worden en terecht komen in mechanische recycling, wat milieukundig ook wenselijk is. Dit betekent dat het niet direct als feedstock kan dienen voor de Rotterdamse chemie. Wel is het zo dat een toename in mechanische recycling er in theorie voor kan zorgen dat de vraag naar kunststoffen uit de chemie (van virgin kwaliteit, dus geproduceerd uit fossiele brandstoffen, via chemische recycling, of via biomassa/CCU) kan afnemen, waardoor minder feedstock nodig is om circulair te produceren.
- Het is niet bekend of al het afgescheiden kunststof ook naar Rotterdam kan komen. Een deel daarvan wordt nu al lokaal gerecycled. Naast mogelijke concurrentie van andere recyclingbestemmingen kunnen er juridische barrières zijn die hier niet onderzocht zijn. Milieukundig verwachten we echter dat het gunstiger is om afgedankte kunststoffen uit de onderzochte landen in Rotterdam chemisch te recyclen dan om ze lokaal te verbranden, mits dit transport efficiënt plaatsvindt.

- De potentiële beschikbaarheid van afgedankt kunststof voor Rotterdam neemt toe naarmate er meer bron- en nascheiding plaatsvindt in Europa (zie ook overzicht nascheidingstechnieken in Paragraaf 4.1). Nederland kan met haar expertise op het gebied van nascheiding een actieve rol vervullen in het exporteren van deze techniek naar buurlanden.
- Niet alle kunststofstromen zijn volledig in beeld, onder andere doordat percentages kunststof in restafval variëren en kunststof in heel veel producten verwerkt zit of met andere materialen gecombineerd wordt (en daardoor niet altijd apart geregistreerd wordt als kunststof). Daarvoor zijn geen exacte cijfers gevonden.
- De 6 Mton die hier ingeschat wordt als benodigde hoeveelheid inputmateriaal voor de Rotterdamse chemie is waarschijnlijk een onderschatting, omdat bij chemische recycling massaverliezen kunnen optreden.

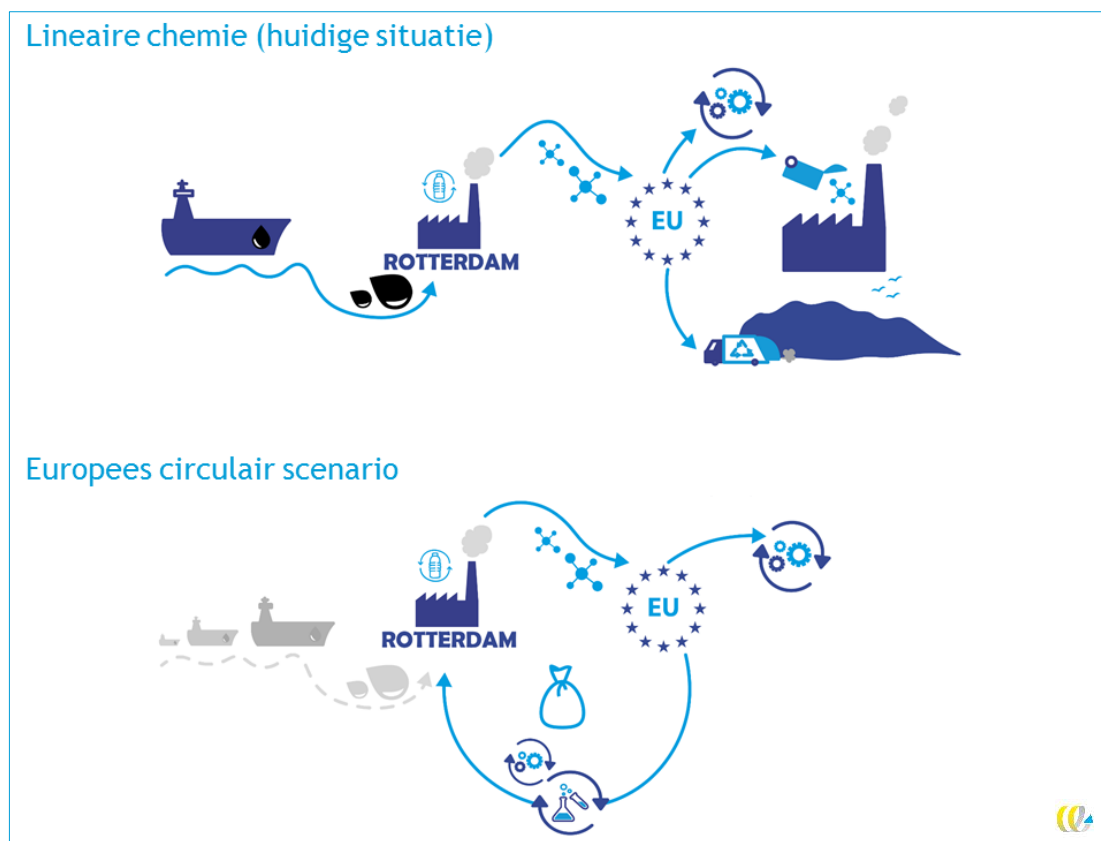
Kortom, hoewel er in theorie genoeg afgedankt kunststof in Nederland en omliggende landen uitgesorteerd wordt, kan het in de praktijk lastig worden om met alleen kunststof-afvalstromen volledig circulair te produceren. Daarnaast is het denkbaar dat naast Rotterdam ook andere chemieclusters op termijn gebruik willen maken van afgedankt kunststof. Om aan de vraag van duurzame grondstoffen te voldoen zullen ook aanvullend koolstofrijk afval (zoals textiel, papier en karton) en andere koolstofbronnen (biomassa en afgevangen CO<sub>2</sub>) een rol moeten spelen.

### **Meer transport door circulaire economie of juist minder?**

De pijlen in Figuur 6 suggereren dat een circulair scenario ervoor zorgt dat er meer transport van materiaal nodig is. Kunststofafval gaat niet meer naar de lokale afvalverbrander op (bijvoorbeeld) 100 km afstand, maar wordt over honderden kilometers getransporteerd om (chemisch) gerecycled te worden in een grote installatie met schaalvoordeel. Hierbij moet echter ook meegenomen worden dat de grondstof voor de lineaire chemie (aardolie) doorgaans van veel verder weg getransporteerd wordt (Midden-Oosten naar Rotterdam) dan het plastic afval in een Europees circulair scenario (Figuur 6). Netto zorgt de circulaire optie dus voor minder transport, maar dat transport is wel meer bij ons in de buurt. Hier zal goed bekeken moeten worden wat milieukundig gezien de beste optie is.

Het blijft daarnaast natuurlijk van belang om het vervoer van kunststofafval te verduurzamen.

Figuur 6 - Schematische weergave van de huidige situatie (lineair) en toekomstbeeld (circulair) met netto minder benodigde grondstoffen en minder transport



Een omschakeling naar circulaire productie zal natuurlijk niet van de ene op de andere dag gerealiseerd zijn. Het is echter belangrijk te beseffen dat de voordelen die in dit rapport geschetst worden (lagere klimaatimpact, behoud van bestaande en tevens opbouw van nieuwe economische activiteit, minder afhankelijkheid van fossiele brandstoffen) ook niet pas optreden bij een volledig circulair productiesysteem. Ook wanneer een tussendoelstelling van bijvoorbeeld 10 of 20% gebruik van afgedankt kunststof als feedstock voor de chemie wordt gerealiseerd, zijn er aanzienlijke voordelen. Het is kortom goed mogelijk om als Rotterdam alvast regionaal/nationaal te beginnen aan het opzetten van een deels circulair productiecluster.

## 6.2 Mechanische en chemische recycling combineren

Als meer afgedankt kunststof beschikbaar komt, zal dit door een mix van technologieën verwerkt moeten worden. Het ligt milieukundig voor de hand om deze stromen zoveel mogelijk uit te sorteren tot monostromen en deze mechanisch te recyclen. Dit is mogelijk voor zowel brongescheiden als nagescheiden kunststoffen. Hoewel dit het grootste milieuvoordeel oplevert, zorgt mechanische recycling niet voor nieuwe feedstocks voor de Rotterdamse chemie. Het kan wel de vraag naar virgin kunststoffen verkleinen.

Chemische recycling kan wel grondstoffen leveren voor circulaire chemie. Omdat de verschillende soorten chemische recycling milieukundig beter lijken te scoren dan verbranding in een AEC maar niet beter dan mechanische recycling, heeft het de voorkeur om chemische recycling in te zetten op een aantal specifieke kunststofstromen.

Er zijn verschillende stromen denkbaar die niet of lastig mechanisch te recyclen zijn:

- uitvallen uit mechanische recycling;
- gemengde kunststoffen die alleen laagwaardig gerecycled kunnen worden, zoals verpakkingen waarin meerdere polymeren gebruikt zijn;
- polymeersoorten die (nog) niet uitgesorteerd worden, bijvoorbeeld omdat ze vooral in consumentenproducten toegepast worden;
- sterk vervuilde stromen, zoals broomhoudend EPS uit de bouw.

Er kan hierbij een tweedeling in de technieken voor chemische recycling gemaakt worden, tussen feedstockrecycling (vergassing en pyrolyse) aan de ene kant en depolymerisatie en oplossen aan de andere kant. Feedstockrecycling lijkt goed toepasbaar op gemengde kunststoffen. Afhankelijk van de gekozen technologie is het bijvoorbeeld mogelijk om tegelijkertijd gemengde kunststoffen en biomassa te verwerken tot basischemicaliën. Hierbij geldt voor feedstockrecycling van kunststoffen dat het qua klimaatimpact momenteel weinig uitmaakt of de outputs worden ingezet in de productie van nieuwe kunststoffen of brandstoffen. Met het oog op de lange termijn is het echter belangrijk om te kijken naar de meest hoogwaardige toepassing van het recyclaat. Als kunststof meerdere malen hoogwaardig gerecycled kan worden, worden er netto meer grondstoffen uitgespaard dan wanneer het recyclaat zou worden toegepast in brandstof.

Depolymerisatie en oplossen richten zich op specifieke polymeertypes, en kunnen ingezet worden bij monostromen die niet (goed) mechanisch gerecycled kunnen worden. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat allerlei soorten PET (gekleurde flesjes, zwarte trays, fleecetruien) gezamenlijk verwerkt worden. Ook wanneer bekend is dat in een bepaalde afvalstroom schadelijke additieven zijn toegepast (bijvoorbeeld broom) die ongewenst zijn in nieuwe producten, kunnen deze technieken uitkomst bieden.

Deze tweedeling betekent overigens niet dat er een harde keuze gemaakt hoeft te worden tussen deze twee groepen technieken. In verschillende studies waarin recyclingscenario's zijn opgesteld worden verschillende vormen van chemische recycling gecombineerd met mechanische recycling:

- McKinsey schat in een wereldwijd scenario voor 50% hergebruik en recycling in 2030<sup>16</sup> dat ca. 22% van de plastics via mechanische recycling opnieuw ingezet worden, versus 13% voor feedstockrecycling en 4% voor monomeerrecycling.
- Accenture geeft in een studie voor CEFIC aan dat in Europa maximaal 60% van de chemische (molecuul)output opnieuw ingezet kan worden (Elser & Ulbrich, 2017). Er wordt geschat dat in Europa jaarlijks 19 Mton materiaal mechanisch gerecycled kan worden, tegenover 8 Mton via chemische recycling.
- Material Economics heeft een Europees, circulair scenario voor kunststoffen opgebouwd (Enkvist & Klevnäs, 2018). Zij schatten in dat in 2050 ca. 56% van de plastics die afgedankt worden mechanisch gerecycled worden, en dat van de resterende 44% ongeveer een kwart, dus 11%, chemisch gerecycled kan worden.

---

<sup>16</sup> <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/how-plastics-waste-recycling-could-transform-the-chemical-industry>





Hoewel deze studies verschillende uitgangspunten hebben, andere aannames doen en aanzienlijke onzekerheden benoemen, zetten ze allemaal in op combinaties van mechanische en chemische recycling om circulaire plasticssystemen met lagere klimaatimpact te verwezenlijken.

### 6.3 Op zoek naar het optimum

Op basis van aanbod, beschikbare technieken en vraag in het Rotterdams chemisch cluster kan gestuurd worden op een optimale inrichting van het recyclingsysteem.

#### Aanbod

Het aanbod van (kunststof)afval in de praktijk bepaalt welke stromen er verwerkt moeten worden. Dit aanbod wordt enerzijds beïnvloed door ontwikkelingen in de markt en anderzijds door ontwikkelingen in sorteersystemen en scheidingsinstallaties. De recycling-technieken moeten aansluiten op dit aanbod, maar dan zijn er nog steeds meerdere keuzes te maken. Daarnaast is de hoop dat ‘design for recycling’ ook steeds meer gebruikt gaat worden. De financiële prikkels die vooral het Franse en sinds kort ook het Nederlandse producentenverantwoordelijkheidssysteem hanteren voor verpakkingen gaan er hopelijk voor zorgen dat Europese kunststofverpakkingen beter recyclebaar worden. Tot slot is een betere financiële aansturing van sortering een krachtig instrument om te komen tot meer monostromen voor recycling. Zo geeft afvalbedrijf Attero aan dat zij, als de vermarkting van het kunststofmateriaal bij hun in het contract zit, kunnen komen tot 75% monostromen als output in plaats van de standaard 50% die nu vaak wordt bereikt.

#### Technieken

Qua technieken om afgedankt kunststof te verwerken moet gezocht worden naar de beste balans tussen:

- mechanische recycling;
- chemische recycling: depolymerisatie en oplossen (korte ketens voor kunststoffen);
- chemische recycling: feedstockrecycling (langere ketens voor kunststoffen);
- verbranding in AEC’s.

Hierbij geldt qua klimaatimpact dat mechanische recycling de voorkeur verdient, en dat verbranding in AEC’s het minst scoort en dus bij voorkeur alleen wordt toegepast op stromen die niet via mechanische recycling te verwerken zijn. Chemische recycling valt tussen deze bestaande opties in. Depolymerisatie en oplossen breken de kunststoffen het minst ver af en leveren een milieuvoordeel dat mechanische recycling kan benaderen. Deze technieken leveren wel een specifieke output en zijn momenteel niet toe te passen op alle soorten inputs. Hierdoor is de markt kleiner en deze technieken kunnen daarom misschien minder snel grootschalig toegepast worden. Feedstockrecycling levert minder milieuvoordeel, maar biedt over het algemeen meer flexibiliteit qua inputmateriaal en een meer veelzijdige output. Omdat de basischemicaliën die met feedstockrecycling geproduceerd worden verwerkt kunnen worden tot een breed scala aan eindproducten, is er naar verwachting een grotere markt voor deze outputs waardoor de technieken sneller grootschalig kunnen worden toegepast.

Bij de hier geschetste rangorde dient opgemerkt te worden dat deze gebaseerd is op de huidige kennis van bestaande technieken, maar dat alle technieken nog verder ontwikkeld zullen worden.



Chemische recycling bestaat bijvoorbeeld uit een scala van verschillende technieken, die nog maar voor een klein deel op commerciële schaal zijn toegepast. Dit zorgt voor onzekerheid in de milieuprestaties (er kunnen verschillen zijn tussen verschillende technologie-ontwikkelaars) maar maakt het ook waarschijnlijk dat er door optimalisatie en schaalvergroting nog winst te boeken is. Daarnaast kan bij zowel AEC's als bij sommige vormen van chemische recycling CO<sub>2</sub> afgevangen worden, die in principe weer gebruikt kan worden in nieuwe chemische producten, wat ook de milieuprestaties verbetert.

Niet alleen voor recyclingtechnieken, maar ook voor AEC's geldt dat milieuprestaties nog kunnen verbeteren, bijvoorbeeld door meer energie (met name warmte) te gaan leveren. Naarmate het Nederlandse elektriciteits- en warmtenet echter steeds verder verduurzaamt, neemt het relatieve CO<sub>2</sub>-voordeel van warmte en elektriciteit uit AEC's ten opzichte van andere bronnen af. Daarnaast is het vanuit het oogpunt van circulariteit gewenst om afval te recyclen in plaats van te verbranden.

Hoewel de milieuprestaties van technieken dus nog niet vast liggen (en per situatie bekeken moeten worden) kunnen al wel duidelijke keuzes worden gemaakt. Gemiddeld genomen is het op de lange termijn zowel vanwege grondstofbesparing als CO<sub>2</sub>-reductie wenselijk om afval zoveel mogelijk te recyclen.

## Vraag

Tot slot vraagt de aanwezige chemische industrie in Rotterdam om bepaalde inputs. Om tot een volledig circulair kunststofcluster te komen zullen de recyclingtechnieken moeten aansluiten op de vraag van de kunststofproducerende industrie. Daarbij is het echter belangrijk om ook voor de lange termijn de juiste (milieukundig optimale) ontwikkelingen te selecteren. Dit betekent concreet dat de recyclingtechnieken niet alleen afgestemd moeten worden op installed base, maar ook op het grootste milieuvoordeel.

Belangrijk is om naast de grote stroom verpakkingen ook te kijken naar grote afvalstromen van producten. Met name producten waar producentenverantwoordelijkheid voor zal worden georganiseerd (zoals textiel en matrassen) zullen op termijn ook meegenomen kunnen worden in deze aanpak. Een andere grote afvalstroom die meegenomen kan worden zijn kunstgrasvelden.

## Aansturingsmechanismes voor optimale keuzes

Er zijn drie belangrijke aansturingsmechanismes om de markt tot een optimaal systeem met een evenwichtige mix van recyclingtechnieken te laten komen. De eerste is het aansturen van de productie van verpakkingen en producten richting 'design for recycling' met financiële prikkels. De tweede is financiële sturing van sortering naar meer monostromen. De derde is het evenwichtig aansturen van mechanische en verschillende vormen van chemische recycling naar CO<sub>2</sub>-voordeel.



# 7 Aanbevelingen

## 7.1 Rotterdamse Transitie naar Recyclehub

De exacte invulling van een circulair chemiecluster op basis van afval en/of biomassa in Rotterdam richting 2030/2040 laat zich moeilijk voorspellen, omdat deze van een groot aantal zaken afhankelijk is (beleid, ontwikkeling verwerkingstechnieken, ontwikkeling afvalstromen). Om toch een beeld te schetsen welke kant het op zou kunnen gaan beschrijven we een transitie met een aantal ontwikkelingsrichtingen die gelijktijdig of achter elkaar kunnen plaatsvinden, maar uiteindelijk leiden tot een optimale circulaire verwerking van het kunststofafval.

### Basis: Combinatie mechanische en chemische recycling

Vanuit milieukundig oogpunt is het wenselijk om de kunststofkringlopen zo kort mogelijk te houden. Over het algemeen betekent dit dat mechanische recycling toegepast dient te worden waar mogelijk, mits het recyclelaat hoogwaardig toepasbaar is.

Er zijn echter drie redenen waarom het belangrijk is voor Rotterdam om vooral te investeren in chemische recycling. Ten eerste is er een aanzienlijk deel van het kunststofafval dat niet mechanisch, maar wel chemisch gerecycled kan worden. Ten tweede levert chemische recycling duurzame bouwstenen voor de aanwezige chemische industrie. Om aan de grote grondstofvraag van deze industrie te voldoen zal het nodig zijn om kunststof (en mogelijk aanvullend koolstofrijk) afval te importeren vanuit Noordwest-Europa. Ten derde levert chemische recycling een forse bijdrage aan het reduceren van broeikasgasemissies wereldwijd, en waarschijnlijk ook aan de klimaatdoelstellingen in de haven en van Nederland.

Door nu te investeren in chemische recycling kan Rotterdam gebruik maken van het ‘first-mover advantage’ en daarmee het eerste cluster in Europa worden met een groot kunststof recyclinghub. Voor de inrichting van deze hub beschrijven we een potentiële transitielijn voor Rotterdam die gebruik maakt van verschillende technieken voor chemische recycling, om zo duurzaamheid en grondstofbeschikbaarheid te optimaliseren. De technieken leveren allen een grote CO<sub>2</sub>-emissiereductie en zijn geschikt voor verschillende afvalstromen: monomeerrecycling is meer gericht op hoogwaardige producten en momenteel vooral toepasbaar op PET en PS, feedstockrecycling is meer gericht op feedstock voor de chemie en momenteel nuttiger voor PE, PP en mixed plastic.

### Rotterdamse Transitielijn

De strategie van Rotterdam is allereerst om te stimuleren dat meer afvalplastics worden gescheiden, zowel via voor- als nascheiding en zowel in eigen land als heel Noord-West Europa. Dit leidt tot een groter aanbod voor mechanische recycling, monomeerrecycling en feedstockrecycling. De Nederlandse overheid ondersteunt de doelstellingen van Rotterdam en draagt daarom bij aan het vergroten van de bron-/nascheiding bij gemeenten. Ook op Europees niveau zet zij zich hiervoor in, en wordt gefocust op een internationale benadering van de meest hoogwaardige inzet van afvalstromen en het wegnemen van juridische barrières. Bedrijven uit Rotterdam kunnen hun expertise op het gebied van afvalscheiding in heel Europa uitdragen, zodat er meer kunststofstromen met weinig

vervuiling beschikbaar komen, die in Rotterdam weer tot hoogwaardige kunststoffen omgezet te worden.

Met de nu bestaande technologieën kan vervolgens op grote schaal gerecycled worden, waarbij een grote massa beschikbaar zal zijn voor feedstockrecycling. Deze technieken zijn minder kieskeurig qua input en hierdoor kunnen volumes sneller groeien. Omdat dit een duidelijke CO<sub>2</sub>-emissiereductie realiseert ten opzichte van verbranden, is stimulering hiervan dan ook op zijn plaats. In verschillende pyrolyse- en vergassingsunits kunnen grote hoeveelheden mixed kunststofafval, eventueel aangevuld met andere koolstofrijke stromen en biomassa, worden omgezet tot pyrolyseolie en syngas. Deze chemische grondstoffen worden vervolgens met de bestaande chemische installaties omgezet naar nieuwe kunststoffen.

Voor enkele soorten plastics bestaan er al technologieën die het plastic afval nog hoogwaardiger kunnen verwerken. De CO<sub>2</sub>-emissiereductie per kg afval is voor deze technieken groter. Voor deze afvalstromen heeft dit de voorkeur. Kunststoffen worden bij deze technieken ofwel via depolymerisatie omgezet in monomeren (waaruit weer kunststoffen gemaakt worden), ofwel via selectieve oplossing direct in gezuiverde polymeren (en zo opnieuw beschikbaar komen). Het gaat hierbij dus om een korte keten waarmee afgedankte kunststoffen teruggebracht worden. Depolymerisatie, wat nu al beschikbaar is voor PET, EPS, PLA en PUR, komt mogelijk ook voor andere polymeersoorten beschikbaar. Daarnaast kan gezocht worden naar oplostechnieken voor bijvoorbeeld PE en PP.

Rotterdam richt zich op een transitie met een maximale CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Dus toepassen wat nu beschikbaar is en bij verdere groei van het aanbod van afvalplastics steeds de beste technieken toepassen, om uiteindelijk tot een optimum te geraken. Conform het Landelijk Afvalbeheer Plan (LAP) wordt immers bij afvalverwerking gestreefd naar de beste verwerking. Veranderingen gaan echter wel stapsgewijs, onder andere gezien de bestaande afvalcontracten en investeringen. Er zal dus gezocht moeten worden naar een goede combinatie van mechanische en diverse soorten van chemische recycling.

Mogelijke invulling chemische recycling in regio Rotterdam:

- (korte termijn) 2 à 3 plants voor pyrolyse en vergassing, ca. 200-300 kton/jaar per plant, paar kleinere plants voor hydrolyse;
- (korte termijn) 1-2 plants voor monomeerrecycling, aangevuld met (langere termijn) 4-8 plants, allen ca. 100 kton/jaar;
- (langere termijn) verwerking van lokale probleemstromen als kunstgras en matrassen;
- (verdere invulling circulariteit met onder andere CCU en biomassa).

Kenmerken:

- in het begin eenvoudigere scheiding kunststoffen, door de jaren heen steeds slimmere sortering nodig;
- snel grote volumes mogelijk, met bijbehorende CO<sub>2</sub>-emissiereductie;
- sluit goed aan op bestaande installaties;
- meteen stimuleren van technieken van depolymerisatie (bijvoorbeeld PET) en oplossen (bijvoorbeeld) voor grootste klimaatvoordeel;
- uiteindelijk grootste klimaatvoordeel door optimalisatie korte ketens en volume.



## 7.2 Denkbare klimaatvoordelen van de Rotterdamse Transitie

In Rotterdam worden grote hoeveelheden kunststoffen (en halffabrikaten daarvoor) gemaakt. Op dit moment in 2020 gaat het om ongeveer 6 Mton kunststofproductie per jaar. Omdat het recyclingsysteem zich op dit moment vrijwel alleen richt op verpakkingen en deze ongeveer 40% van de afzet van kunststoffen bedraagt, is de netto recycling van deze kunststoffen naar schatting ongeveer 15% (circa 40% van de verpakkingen wordt gerecycled en dit is circa 40% van de kunststofstroom) (Rijksoverheid, 2018). Uiteindelijk is het denkbaar dat er voor 2030 gestreefd wordt naar een recyclingpercentage van 80%, waarbij dit ingevuld wordt met een toename van mechanische recycling, maar vooral met het toevoegen van chemische recycling. In Tabel 7 is ingeschat wat deze toename naar 80% recycling voor de Rotterdamse regio aan CO<sub>2</sub>-emissiereductie zou kunnen realiseren. Er is hierbij gebruik gemaakt van eerdere analyses van CE Delft (2019).

Tabel 7 - Denkbare landelijke CO<sub>2</sub>-emissiereductie door toename mechanische recycling en toevoegen chemische recycling in de regio Rotterdam

Actie	Hoeveelheid afvalplastic	CO <sub>2</sub> -emissiereductie (CE Delft, 2019)	Totale CO <sub>2</sub> -emissiereductie
25% extra mechanische recycling	1,5 Mton	2,5 kg CO <sub>2</sub> eq./kg plastic	3,75 Mton CO <sub>2</sub> -eq.
25% feedstock recycling	1,5 Mton	1 kg CO <sub>2</sub> eq./kg plastic	1,5 Mton CO <sub>2</sub> -eq.
15% monomeer recycling en oplossen	0,9 Mton	2 kg CO <sub>2</sub> eq./kg plastic	1,8 Mton CO <sub>2</sub> -eq.
<b>Totaal</b>			<b>7 Mton CO<sub>2</sub>-eq.</b>

Deze denkbare toename van zowel mechanische recycling (huidige 15% plus 25% is samen 40%) als chemische recycling (25% feedstock en 15% monomeer en oplossen) door het plaatsen van de benodigde installaties in de Rotterdamse regio, kan 7 Mton CO<sub>2</sub>-emissiereductie realiseren. In verhouding tot de op dit moment gerapporteerde CO<sub>2</sub>-emissie in de Rotterdamse regio van 30 Mton CO<sub>2</sub> per jaar, is dit fors. De 7 Mton emissiereductie zal echter niet volledig in Rotterdam, maar deels elders in de keten plaatsvinden. Verder onderzoek moet uitwijzen welk deel hiervan aan Rotterdam toegerekend kan worden.

## 7.3 Aanbevelingen Rotterdamse Transitie naar Recyclehub

Bedrijven zijn bezig om elementen van zowel depolymerisatie, oplossen en feedstock-recycling te ontwikkelen en te implementeren, maar zij lopen daarbij tegen technische, economische en beleidsmatige drempels op. De gemeente Rotterdam, de Provincie Zuid-Holland en de MDRH-regio kunnen op verschillende manieren helpen deze drempels te egaliseren. Samen met de nationale overheid en de EU kan Rotterdam helpen om de lijnen vorm te geven. We noemen hier een aantal beleidsmogelijkheden voor de gemeente. Kortweg gezegd gaat het dan om massa maken, tempo maken en verdere verdieping.

### Aanbevelingen Verpakkingsafval

1. De gemeente Rotterdam heeft door de medewerking aan een nascheidingsinstallatie (bij de AVR) van verpakkingsafval uit het huisvuil van Rotterdam de volumes af te scheiden plastic sterk vergroot. Aanbevolen wordt om via de beleidslijnen van VNG, NVRD en G4-steden te pleiten voor maximale scheiding (zowel voor- als nascheiding) en optimale verwerking in Nederland. Verder wordt een lobby richting Europa aanbevolen om

maximale scheiding en optimale verwerking van kunststof te bevorderen. Hiermee moet het aanbod van gescheiden verpakkingsafval fors worden vergroot.

2. De gemeente Rotterdam pleit samen met de VNG voor het verhogen van het recyclingdoel voor kunststof verpakkingen naar 70%.
3. De gemeente Rotterdam pleit binnen VNG-, G4- en NVRD-verband voor een afspraak binnen de Raamovereenkomst Verpakkingen waarbij feedstockrecycling en monomeerrecycling worden bevorderd. Bijvoorbeeld door monomeerrecycling gelijk te stellen aan mechanische recycling en dat feedstockrecycling telt voor 50% (1% feedstock-recycling telt als 0,5% mechanische recycling).
4. De gemeente Rotterdam bepleit bij de Rijksoverheid om het afvalbeleid (LAP) zo aan te passen dat afvalstromen zo hoogwaardig mogelijk verwerkt worden, ook nu er nieuwe technische opties voor chemische recycling op de markt komen. De gemeente Rotterdam bepleit bij de nationale overheid (RWS) dat in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3) monomeerrecycling gezien wordt als behorende tot de meest hoogwaardige recycling (Categorie C1) en feedstockrecycling tot Categorie C2 (mits de output wordt toegepast als materiaal).
5. De gemeente Rotterdam pleit binnen VNG- en G4-verband in Den Haag voor het opnemen van chemische recycling in de SDE++-subsidieregeling, met een hogere waardering voor monomeerrecycling dan voor feedstockrecycling.

#### **Eigen gemeentelijke afvalstromen/ inkoop (niet verpakkingsafval)**

6. De gemeente Rotterdam laat haar kunststofafval zo sorteren/verwerken dat kunststofstromen mechanisch of via chemische recycling worden verwerkt, met de best beschikbare technieken. Dit geldt bijvoorbeeld voor kunststofgrasvelden, kunststof van milieuparken en niet-verpakkingsplastics in het huisvuil. Zodra deze afvalstromen opnieuw aanbesteed worden zal hier aandacht voor zijn (huisvuilplastics pas in 2030). Via de VNG/G4 stimuleert ze ook andere gemeenten zo te gaan handelen. Zowel circulariteit als CO<sub>2</sub> worden meegenomen in de aanbesteding.

#### **Gemeentelijk Economisch Innovatie/ transitiebeleid**

7. De gemeente faciliteert grootschalige technologieën (feedstock, monomeer en scheiding) in samenwerking met Havenbedrijf en IQ. Daarbij faciliteert ze kansrijke pilot- en demonstratie-installaties. Zij benut daarbij de positie van het chemische testcentrum Plant One.
8. De gemeente stimuleert ook specifieke innovatietechnologieën gericht op de verwerking en/of scheiding van specifieke gemeentelijke kunststofstromen, zoals veegafval, kunststof grasvelden, textielafval etc. Zij vullen het afvalrecyclehub verder aan.

Circulaire Havens in Europa: De gemeente Rotterdam pleit samen met Antwerpen en Ludwigshafen/Mannheim (evt. aangevuld met andere steden met veel chemie) in Europa voor een geleidelijk oplopend target van secundaire en/of biobased/CCU chemie met een EU-transitiefonds om deze verandering mogelijk te maken.

## **7.4 Verder onderzoek**

Deze verkenning van mogelijkheden voor Rotterdam met afval geeft richting maar benut nog niet alle mogelijkheden van het huishoudelijk afval. We suggereren daarom om op een aantal punten aanvullend onderzoek te doen:

- Onderzoek samen met andere grote steden in Nederland (bijvoorbeeld de G5) wat de huisvuilafvalverwerkingstechnieken zijn die tot 2030 interessant kunnen gaan worden. Hierbij kan zowel naar kunststof als ander koolstofrijk afval zoals GFT, textiel, papier en karton gekeken worden. Voor een aantal van deze koolstofrijke stromen kan het goed zijn dat vormen van chemische recycling hiervoor ook geschikt zijn. Bij dit

onderzoek kan goed gebruik gemaakt worden van de verkenning die CE Delft nu voor Vlaanderen (OVAM) uitvoert. Door nog meer koolstofrijke afvalstromen te ontsluiten kan de transitie van de Haven, circulariteit en CO<sub>2</sub> uitstoot reductie nog verder worden gestimuleerd.



## 8 Literatuur

- CE Delft, 2017a. *Biobased plastics in a circular economy*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017b. *Innovatie afvalverwerkingstechnieken doorgelicht*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018a. *Verkenning chemische recycling*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018b. *Verkenning kosten en baten uitsorteren en recyclen PLA (conceptrapport)*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019. *Chemische recycling in het afvalbeleid*, Delft: CE Delft.
- Cimpan, C., Rothmann, M. & Wenzel, H., 2015. *Material flow analysis, carbon footprint and economic assessment of alternative collection and treatment of domestic household waste from the region of Funen, Denmark*, Odense: University of Southern Denmark.
- CPB, 2017. *CPB Achtergronddocument (13 september 2017). De circulaire economie van kunststof: van grondstoffen tot afval*, Den Haag: Centraal Planbureau.
- Crippa, M. et al., 2019. *A circular economy for plastics - Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions*, Brussels, Belgium: European Commission.
- Defra, 2018. *Digest of waste and resource statistics - 2018 edition*, Londen: Defra.
- Defra, 2019. *ENV23 - UK statistics on waste*. [Online]  
Available at: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/env23-uk-waste-data-and-management>  
[Geopend 8 5 2019].
- Destatis, 2016. *Abfallbilanz 2016*, sl: Statistisches Bundesamt (Destatis).
- Elser, B. & Ulbrich, M., 2017. *Taking the European chemical industry into the circular economy - Executive summary*, sl: Accenture.
- Enkvist, P.-A. & Klevnäs, P., 2018. *The circular economy - a powerful force for climate mitigation*, sl: Material Economics.
- Gemeente Rotterdam, 2019. *Van zoi naar mooi: Programma Rotterdam Circulair 2019 - 2023*, Rotterdam: Gemeente Rotterdam.
- Havenbedrijf Rotterdam, 2011. *Havenvisie 2030*, Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.
- Havenbedrijf Rotterdam, 2016. *Facts & figures on the rotterdam energy port and petrochemical cluster*, Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.
- Havenbedrijf Rotterdam, 2017. *Voortgangsrapportage 2017 - Havenvisie 2030*, Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.
- KIDV, 2017. *Chemisch recyclen van kunststof verpakkingen - Verslag Verdiepingsbijeenkomst 9 februari 2017*, Den Haag: Stichting Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV).
- KplusV, 2018. *Gemeentelijk afval naar chemische recycling [vertrouwelijk rapport]*, Arnhem: KplusV.
- Metabolic, 2018. *Circulair Rotterdam*, Amsterdam: Metabolic.
- MRDH, 2016. *Roadmap Next Economy*, Rotterdam: Metropoolregio Rotterdam-Den Haag.
- MST, 2017. *Waste statistics 2015*, Kopenhagen: Miljøstyrelsen.
- MTEs, 2017. *Bilan 2014 de la production de déchets*, Paris: Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.
- OVAM, 2017. *Huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2016*, sl: OVAM.
- OVAM, 2017. *Huishoudelijk afval en gelijkaardig bedrijfsafval 2016*, Mechelen: OVAM.
- PlasticsEurope, 2018. *Plastics - the Facts 2017*, Brussel: PlasticsEurope.
- Port of Rotterdam, 2018. *Port of Rotterdam CO2 neutral*, Rotterdam: Port of Rotterdam.
- PRN, 2016. *Factsheet vervuilingsonderzoek 2016*, Hoofddorp: Stichting PRN.
- Rijksoverheid, 2016. *Nederland circulair in 2050*, Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijksoverheid, 2018. *Transitie-agenda Kunststoffen*, Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijkswaterstaat, 2019. *Samenstelling van het huishoudelijk restafval, sorteeranalyses 2018; Gemiddelde driejaarlijkse samenstelling 2017*, Utrecht: Rijkswaterstaat.





StatBel, 2016. *Afvalproductie*. [Online]  
Available at: <https://statbel.fgov.be/nl/themas/leefmilieu/afval-en-vervuiling/afvalproductie#figures>  
[Geopend 8 mei 2019].

Umwelt Bundesamt, 2017. *Plastics*. [Online]  
Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/waste-resources/product-stewardship-waste-management/plastics>  
[Geopend 8 mei 2019].

Veldacademie, 2018. *Gesprek met de stad: Een onderzoek naar het toekomstbeeld van Rotterdammers*, Rotterdam: Veldacademie.

Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk, 2018. *In drie stappen naar een duurzaam industriecluster Rotterdam-Moerdijk in 2050*, Rotterdam: Werkgroep Industriecluster Rotterdam-Moerdijk.

WRAP, 2017. *Valuing Our Clothes: the cost of UK fashion*, Banbury: WRAP.

Wuppertal Institut, 2016. *Decarbonization pathways for the industrial cluster of the port of Rotterdam*, Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.

# A Productiecapaciteit in het Rotterdams industriële complex

Tabel 8 toont een overzicht van de aanwezige productiecapaciteit (in 2015) van de belangrijkste aan kunststofproductie gerelateerde stoffen van de petrochemische industrie in industriecuster Rotterdam-Moerdijk (Havenbedrijf Rotterdam, 2016). De totale productiecapaciteit bedraagt rond de 12.000 kton. Hier zitten echter ook veel stoffen tussen die naast kunststofproductie ook andere toepassingen hebben, of die een precursor zijn voor andere stoffen die binnen het industriecuster geproduceerd worden. Als deze stoffen niet mee worden genomen, blijft een totaal aan 4.400 kton stoffen over dan wel kunststofpolymeren die klaar zijn voor verwerking in halffabricaten en eindproducten, dan wel precursors voor kunststoffen die niet verder worden verwerkt binnen het industriecuster. Wanneer ook de additieven en harsen worden meegenomen, komt dit totaal uit op 6.300 kton.

Tabel 8 - Overzicht van totale productiecapaciteit van belangrijke mono- en polymeren voor de kunststofproducerende en -verwerkende industrie binnen het industriecuster Rotterdam-Moerdijk (berekeningen CE Delft op basis van cijfers van het Havenbedrijf Rotterdam (2016))

Stof	Type	Toepassing	Precursor voor andere stof binnen het cluster?	Productiecapaciteit (kton)
Polypropyleen	Polymeer		Nee	180
Polybutadieen rubber	Polymeer		Nee	15
PVC	Polymeer		Nee	450
PET	Polymeer		Nee	400
PMMA	Polymeer		Nee	25
PA/nylon	Polymeer		Nee	90
Polyether polyolen	Polymeer	O.a. PU-productie	Nee	200
MDI	Monomeer	O.a. PU-productie	Nee	420
Propyleen glycol	Monomeer	O.a. PU-productie	Nee	80
Styreen	Monomeer	O.a. PS- en SBR -roductie	Nee	1.640
Additieven en harsen	Mix	O.a. BPA, ECH, phthalaten, epoxyharsen	N.v.t.	1.770
Propyleen	Monomeer	Precursor propyleenoxide; polypropyleen, acrylonitriël en cumeen productie	Ja	955
Butadieen	Monomeer	Precursor butadieen rubber; ABS-productie	Ja	115
Vinyl chloride monomeer	Monomeer	Precursor PVC	Ja	620
Ethyleen dichloride	Monomeer	Precursor vinyl chloride	Ja	80
PTA	Monomeer	Precursor PET	Ja	350
Para xyleen	Monomeer	Precursor tereftaalzuur (PTA)	Ja	690

Stof	Type	Toepassing	Precursor voor andere stof binnen het cluster?	Productiecapaciteit (kton)
<i>Benzeen</i>	<i>Monomeer</i>	<i>Precursor ethylbenzeen; cumeen en toluenproductie</i>	<i>Ja</i>	1.250
<i>Ethylbenzeen</i>	<i>Monomeer</i>	<i>Precursor styreen</i>	<i>Ja</i>	640
<i>Propyleen oxide</i>	<i>Monomeer</i>	<i>Precursor polyether polyols en propylene glycol; PU-productie</i>	<i>Ja</i>	995
<i>Cyclohexaan</i>	<i>Monomeer</i>	<i>Precursor nylon</i>	<i>Ja</i>	270
Aan kunststofproductie gerelateerde chemicaliën – incl. precursors van producten die op grote schaal binnen het havencomplex worden verwerkt <sup>a</sup> – incl. additieven en harsen <sup>b</sup>				12.300
Aan kunststofproductie gerelateerde chemicaliën – excl. precursors van producten die op grote schaal binnen het havencomplex worden verwerkt <sup>a</sup> – incl. additieven en harsen <sup>b</sup>				<b>6.300</b>
Aan kunststofproductie gerelateerde chemicaliën – - excl. precursors van producten die op grote schaal binnen het havencomplex worden verwerkt <sup>a</sup> – - excl. additieven en harsen <sup>b</sup>				4.400