



# Chemische recycling van kunststof verpakkingen

Analyse en mogelijkheden voor opschaling

## **Colofon**

25 oktober 2018

Deze rapportage is opgesteld door het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV) en is mogelijk gemaakt door de Stichting Afvalfonds. Voor eventuele vragen naar aanleiding van deze rapportage kunt u contact opnemen met het KIDV.

Contactgegevens KIDV:

Zuid-Hollandlaan 7, 2596 AL Den Haag – T: 070 762 05 80 – W: [www.kidv.nl](http://www.kidv.nl)

Onderliggende rapportages:

Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO, oktober 2018.

Verkenning chemische recycling, CE Delft, september 2018.

## Leeswijzer

Voor u ligt de rapportage ‘Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling’. Hierin beschrijven we de stappen die genomen moeten worden om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen in Nederland. Chemische recycling van kunststof verpakkingen is kansrijk, omdat het de potentie heeft om kunststof afvalstromen te recyclen die nu nog niet of moeilijk mechanisch gerecycled kunnen worden. Daarnaast bieden sommige vormen van chemische recycling de mogelijkheid om meer recycalaat in te zetten in voedselverpakkingen.

Deze analyse is geschreven voor de vertegenwoordiging van ketenpartijen uit de afvalsector en de chemische industrie die het Actieplan Chemische Recycling, zoals genoemd in de Transitieagenda Kunststoffen<sup>1</sup>, gaan uitwerken. De bevindingen, conclusies en acties uit dit stuk geven handvatten voor stakeholders in de keten om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen.

‘Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling’ bestaat uit twee onderdelen:

- **Deel 1 ‘Conclusies en acties voor opschaling’:** In hoofdstuk 1 staan de stappen die door stakeholders gezet moeten worden om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen. Hoofdstuk 2 is een samenvatting van de belangrijkste bevindingen en conclusies uit de analyse (deel 2).
- **Deel 2 ‘Analyse van chemische recycling van kunststof verpakkingen’:** Deel 2 vormt het fundament onder de conclusies en acties voor opschaling. In deze analyse worden onder andere de vragen beantwoord: wat is de klimaatimpact van de onderzochte chemische recycling technieken? Wat zijn de proceskosten van voorbeeldprocessen? En wat zijn barrières en kansen in beleid en regelgeving?

In de bijlagen vindt u achtergrondinformatie met de projectaanpak, uitwerking van de doelstelling en aanleiding voor het project en een toelichting op hoe de reflectie op de analyse en deze rapportage is georganiseerd.

---

<sup>1</sup> In het kader van het Rijksbrede programma Circulaire Economie hebben de ondertekenaars van het Grondstoffenakkoord Transitieagenda’s ontwikkeld voor onder andere kunststoffen (gepubliceerd in januari 2018).

## Inhoud

Leeswijzer.....	3
Deel 1: Conclusies en acties voor opschaling.....	6
1 Acties om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen.....	7
1.1 Inleiding.....	7
1.2 Stand van zaken.....	8
1.3 Zes stappen met acties voor opschaling .....	10
2 Samenvatting bevindingen en conclusies chemische recycling van kunststof verpakkingen.....	17
2.1 Chemische recycling naast mechanische recycling.....	17
2.2 Belangrijkste bevindingen .....	19
2.3 Conclusies.....	23
Deel 2: Analyse van chemische recycling van kunststof verpakkingen.....	25
3 De kansen van chemische recycling van kunststof verpakkingen voor Nederland .....	26
3.1 Een overzicht van de kansen voor Nederland.....	26
4 Aanpak economische en klimaatanalyse van voorbeeldprocessen .....	28
4.1 Bepalen van de kansrijke inputstromen kunststof verpakkingen.....	28
4.2 Aanpak klimaatimpact.....	29
4.3 Aanpak analyse proceskosten .....	30
4.4 Beschikbare stromen kunststof verpakkingsafval.....	31
4.4.1 Mix kunststoffen .....	32
4.4.2 Kunststof verpakkingen uit sorteer- en recycleverliezen.....	32
4.4.3 Moeilijk te recyclen mono-stromen.....	33
5 Resultaten economische en klimaatanalyse per techniek.....	34
5.1 Solvolyse.....	34
5.1.1 Input- en outputstromen .....	35
5.1.2 Klimaatimpact.....	36
5.1.3 Proceskosten voorbeeldproces solvolyse (EPS Creasolv).....	36
5.2 Depolymerisatie .....	37
5.2.1 Input- en outputstromen .....	38
5.2.2 Klimaatimpact.....	39

5.2.3	Proceskosten voorbeeldproces depolymerisatie (PET glycolyse) .....	40
5.3	Pyrolyse .....	41
5.3.1	Input- en outputstromen .....	42
5.3.2	Klimaatimpact.....	42
5.3.3	Proceskosten voorbeeldproces pyrolyse (snelle, lage temperatuur pyrolyse).....	43
5.4	Vergassing .....	45
5.4.1	Input- en outputstromen .....	46
5.4.2	Klimaatimpact.....	47
5.4.3	Proceskosten van voorbeeldproces vergassing (hoge temperatuur vergassing).....	47
6	Kansen en barrières in beleid en regelgeving .....	50
6.1	Chemische recycling in LAP3 .....	50
6.2	Chemische recycling en het Rijksbrede programma CE.....	51
6.3	Subsidiemogelijkheden voor chemische recycling.....	51
6.4	Concretisering en aanpassing van regelgeving om chemische recycling van kunststof verpakkingen te stimuleren .....	52
6.5	Maatregelen en beleidsinstrumenten die andere feedstock dan verpakkingen voor chemische recycling beïnvloeden .....	54
	Bijlagen .....	56
	Bijlage 1: Projectaanpak Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling .....	57
	Bijlage 2: Doelstelling en aanleiding van de analyse.....	60
	Bijlage 3: Draagvlak en reflectie .....	61

## Deel 1: Conclusies en acties voor opschaling



# 1 Acties om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen

## 1.1 Inleiding

Stakeholders uit de kunststofverpakkingsketen hebben de gezamenlijke ambitie om de keten op termijn te sluiten, zowel op het gebied van grondstoffen als in economisch opzicht. Met het optimaliseren van de huidige inzamel- en verwerkingssystemen is een verhoging van de hoeveelheid gerecycled kunststof en verhoging van kwaliteit mogelijk, maar hierbij lopen we ook tegen systeemgrenzen aan<sup>2</sup>. Een systeemwijziging met potentieel grote impact op de kwantiteit en de kwaliteit van gerecycled kunststof, is chemische recycling van kunststof verpakkingen. Chemische recyclingstechnieken hebben de potentie om de recycling van kunststof verpakkingen te verbeteren, te vergroten en de kwaliteit van het recycalaat te verhogen tot eenzelfde kwaliteit als virgin kunststoffen of grondstoffen. De Transitieagenda Kunststoffen heeft vanuit het oogpunt van circulair grondstoffengebruik en het realiseren van CO<sub>2</sub>-reductie, de ambitie gedefinieerd om in 2030 jaarlijks 250 kton output van chemische recycling te realiseren.

Chemische recycling van kunststoffen en kunststof verpakkingen lijkt veelbelovend, maar kent ook nog een aantal kennishiaten: welke chemische recyclingstechnieken zijn kansrijk? Leidt chemische recycling tot verminderde klimaatimpact? Is chemische recycling economisch rendabel? En welke belemmeringen en kansen zijn er in beleid en regelgeving? In deze analyse gaan we in op deze vragen specifiek voor kunststof verpakkingen. Ook kunststof producten kunnen chemisch gerecycled worden, maar dit valt niet binnen de scope van deze KIDV analyse. In het najaar van 2018 zal VNO-NCW starten om de acties uit deze analyse op te pakken en verder uit te werken samen met betrokken bedrijven. VNO-NCW zal zich inzetten om gezamenlijk met ketenpartners chemische recyclingcapaciteit voor de kunststofstroom in Nederland gerealiseerd te krijgen, die zowel kunststof verpakkingen als afgedankte kunststof materialen gaat verwerken.

In dit eerste hoofdstuk benoemen we de acties die genomen moeten worden om chemische recycling van kunststof verpakkingen in Nederland op te schalen, zodat het bijdraagt aan het sluiten van kunststofketen.

In deze studie hanteren we een aantal uitgangspunten:

- We richten ons specifiek op de chemische recycling van *kunststof verpakkingen*, en dus niet de chemische recycling van andere afvalstromen<sup>3</sup>;
- We spreken van chemische recycling wanneer de output van het recyclingproces *weer wordt ingezet als grondstof in de maakindustrie*<sup>4</sup>, en dus niet wordt ingezet als brandstof, en

---

<sup>2</sup> Conclusie in het Kunststofketenproject van het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken dat in augustus 2017 is gepubliceerd.

<sup>3</sup> Sommige chemische recyclingstechnieken zijn ook toepasbaar op andere kunststofafval afkomstig van niet-verpakkingen, daar waar acties raken aan deze andere afvalstromen worden deze genoemd in hoofdstuk 1.3.

<sup>4</sup> Conform de definitie van het Landelijk Afvalbeheersplan (LAP3), zie definities in kader in hoofdstuk 3.1.

- We kijken naar de kansen die chemische recycling op dit moment biedt *in aanvulling op mechanische recycling van kunststof verpakkingen* en dus niet als vervanging van mechanische recycling<sup>5</sup>.

## 1.2 Stand van zaken

De ontwikkeling van chemische recyclingtechnieken van kunststof verpakkingen vindt al geruime tijd plaats. Een aantal bedrijven onderzoekt chemische recyclingprocessen op pilotschaal. En op basis van de beschikbare inputstromen en afzetmarkten van de outputstromen worden samenwerkingsverbanden in de keten verkend om de processen op grotere (industriële) schaal toe te passen. Gezien de huidige marktontwikkelingen en concrete initiatieven op pilotschaal, lijkt het realiseren van chemische recycling van kunststof verpakkingen op industriële schaal op dit moment en de komende jaren verder vorm te krijgen in Nederland.

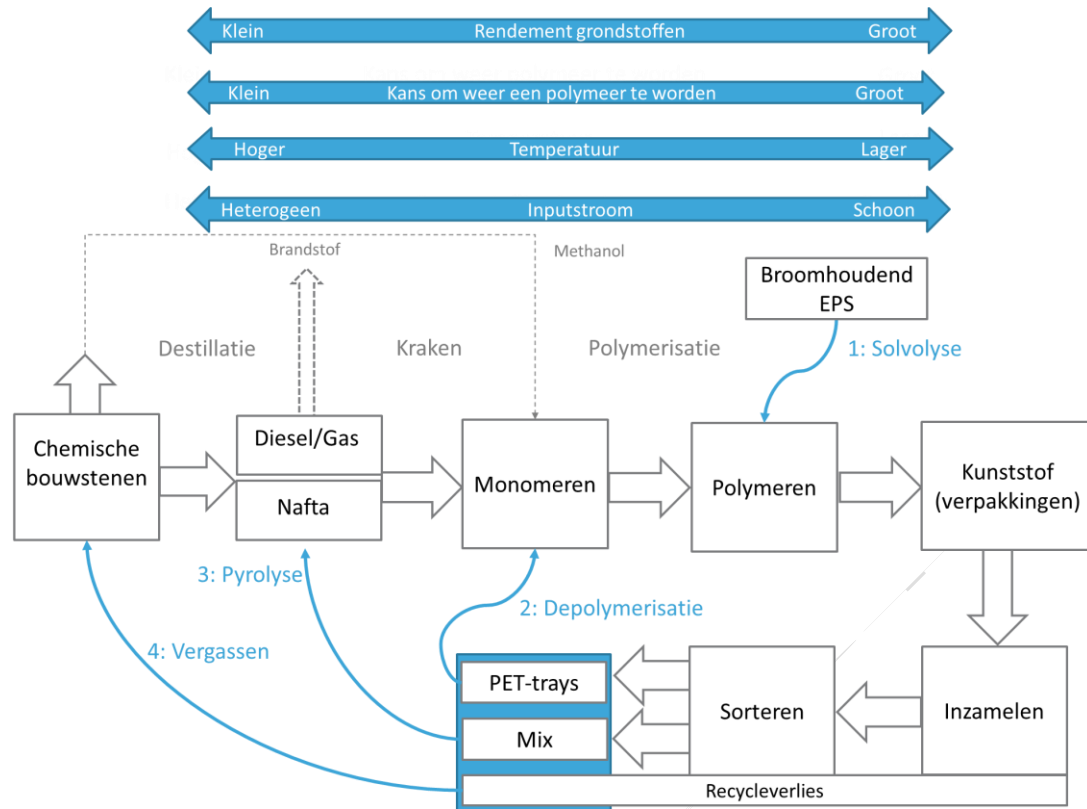
Chemische recycling maakt het mogelijk om verschillende kunststofsoorten in één product of verpakking van elkaar te scheiden, of te scheiden van andere materialen of grondstoffen (bijvoorbeeld door solvolyse). Chemische recyclingtechnieken variëren van het afbreken van kunststof verpakkingen naar de kleinste chemische bouwstenen (vergassing) tot, iets minder vergaand, het afbreken naar moleculaire tussenstappen uit de kunststof productieketen (depolymerisatie, pyrolyse). Deze verschillende technieken bieden onder meer een oplossing voor de afnemende kwaliteit van de polymeerketens na iedere cyclus van mechanische recycling. Afhankelijk van de techniek, kan chemische recycling:

- het materiaal of de grondstof weer geschikt maken voor voedseltoepassingen (foodgrade); dit is noodzakelijk voor grote producenten die ambities hebben uitgesproken op het gebied van toepassing van gerecyclede kunststoffen in hun verpakkingen, zoals Unilever, P&G, Coca-Cola, Mars;
- omgaan met relatief complexe stromen van verschillende materialen en aanhangend vocht en vervuiling;
- omgaan met moeilijke vervuiling of verontreiniging (zoals additieven, geur en kleur) in zuivere kunststofstromen;
- tot nieuwe materialen, grondstoffen of bouwstenen voor grondstoffen leiden die flexibel kunnen worden ingezet met brede afzetmarkten en toepassingen.

---

<sup>5</sup> In deze analyse gaan we uit van de beschikbare stromen in de huidige situatie, waarbij chemische recycling wordt ingezet in aanvulling op de huidige mechanische recycling. In de toekomst kunnen chemische recyclingtechnieken mogelijkmechanische recyclingtechnieken vervangen door innovatie en marktwerking, bijvoorbeeld door een toenemende vraag naar gerecyclede grondstoffen die foodgrade of hoogwaardig toegepast kunnen worden.





Figuur 1: Schematische weergave van vier chemische recyclingtechnieken

Het opschalen van chemische recycling van kunststoffen kent geen koude start. De afgelopen jaren zijn er in Nederland al de nodige initiatieven in gang gezet op het gebied van chemische recycling van onder andere kunststof verpakkingen:

- Ioniqa (depolymerisatie): brengt PET-verpakkingsafval terug naar zuivere grondstoffen waarmee kleuren en andere verontreinigingen eruit worden gehaald. Capaciteit die in 2019 gerealiseerd wordt: 9 kton output BHET<sup>6</sup>.
- Waste-to-Chemicals (vergassing): Air Liquide, AkzoNobel Specialty Chemicals, Enerkem en Havenbedrijf Rotterdam willen een installatie bouwen om koolstofhoudend afval om te zetten in methanol. Naast kunststof verpakkingsafval zal ook biomassa, luiers, papier, etc. worden verwerkt. Capaciteit: ongeveer 200 kton output (methanol).
- Bin2Barrel (pyrolyse): verwerkt onder andere kunststof verpakkingsstromen die niet of moeilijk mechanisch gerecycled kunnen worden en anders in een AEC belanden tot brandstof en chemicaliën. Capaciteit: 24 kton output (brandstoffen).
- Synbra (solvolyse): heeft een pilotfabriek opgezet die EPS omzet in o.a. PS. Capaciteit pilotfabriek: 3 kton PS.
- Cumapol (depolymerisatie): werkt aan een pilotfabriek voor PET-recycling, onder andere verpakkingen. Capaciteit na succesvolle pilot 25 kton output BHET/PET.

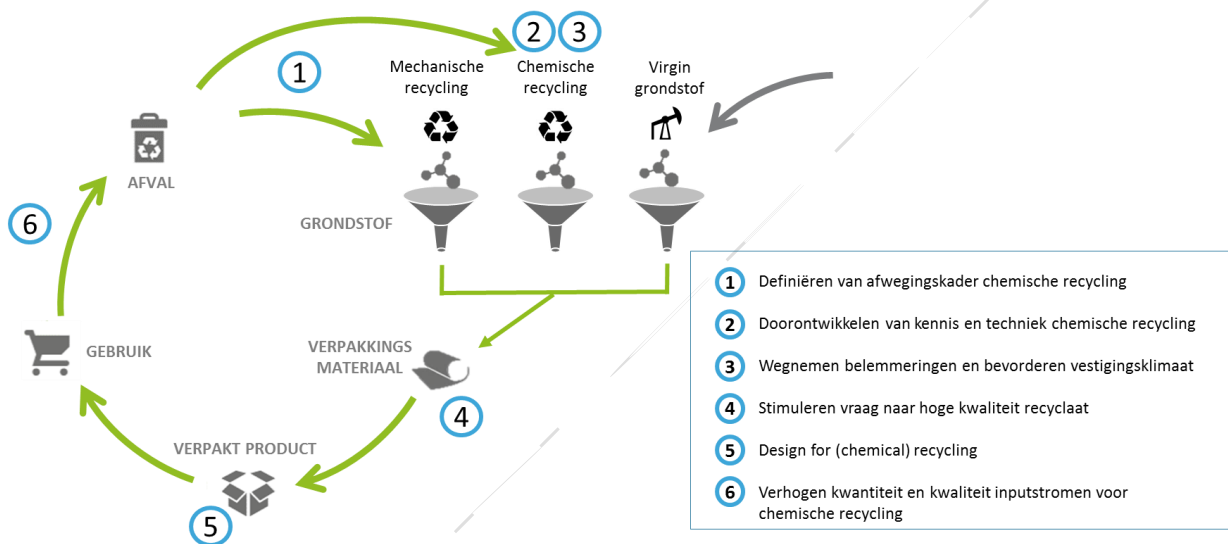
Bovenstaande lijst is niet uitputtend. Ook andere minder zichtbare initiatiefnemers op het gebied van chemische recycling zijn actief in Nederland. Deze initiatieven variëren in de processen die zij

<sup>6</sup> Tussenproduct in de productieketen van PET.

toepassen en kunnen samen bijdragen aan het verder uitbouwen van de koploerspositie en kennispositie van Nederland in chemische recycling van kunststof verpakkingen.

### 1.3 Zes stappen met acties voor opschaling

Om de bestaande technieken voor chemische recycling van kunststof verpakkingen op industriële schaal te realiseren, is een systeemwijziging nodig. Dit betekent dat in alle stappen van de kunststofketen acties nodig zijn. We onderscheiden zes stappen die nodig zijn op verschillende plekken in de kunststofketen, deze staan in onderstaande figuur schematisch weergegeven. Stap 1 en 2 kunnen parallel worden opgepakt. Vervolgens zijn de stappen 3 t/m 6 nodig, deze kunnen ook naast elkaar worden ingezet. Hieronder lichten we deze zes stappen verder toe en welke acties en stakeholders hierbij horen.



Figuur 2: Ketenstappen en bijbehorende acties om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen.

#### Stap 1: Definiëren van afwegingskader chemische recycling

In de gesprekken die zijn gevoerd in de totstandkoming van deze analyse bleken er diverse uitgangspunten en definities van chemische recycling gehanteerd te worden. Om sector-breed te werken aan het opschalen van chemische recycling van kunststof verpakkingen, is het essentieel dat stakeholders gedeelde uitgangspunten hanteren. Daarbij is een gemeenschappelijk afwegingskader behulpzaam om te beoordelen of een bepaalde ontwikkeling al dan niet bijdraagt aan het gezamenlijk gedefinieerde doel.

Vragen die beantwoord worden in het afwegingskader voor de opschaling van chemische recycling in Nederland<sup>7</sup>:

- Welke definitie van chemische recycling wordt gehanteerd?

<sup>7</sup> Voor het opstellen van deze analyse hebben wij uitgangspunten gedefinieerd die invulling geven aan de vragen in het afwegingskader, zie paragraaf 1.1.

- (Bijvoorbeeld: wanneer de output van chemische recycling wordt ingezet voor de maakindustrie, wanneer het recyclingproces leidt tot grondstof voor gelijke toepassing, wanneer de output wordt omgezet naar grondstof of brandstof, etc.)
- Wat is het doel waarnaar gestreefd wordt?  
(Bijvoorbeeld: recyclen van kunststof verpakkingen die nu nog niet mechanisch worden gerecycled, CO<sub>2</sub>-reductie, produceren van 250 kton output van chemische recycling in 2030, etc.)
  - Welke inputstromen worden ingezet voor chemische recycling?  
(Bijvoorbeeld: alle stromen kunststof verpakkingafval die nu niet mechanisch worden gerecycled, zoveel mogelijk afvalstromen om geambieerde output of CO<sub>2</sub>-reductie te realiseren, etc.)
  - Hoe verhoudt de inzet van chemische recycling zich tot mechanische recycling?  
(Bijvoorbeeld: chemische recycling wordt alleen ingezet waar mechanische recycling kunststofstromen niet aankan, chemische recycling wordt ingezet voor het opwerken van laagwaardige stromen en mechanische recycling voor hoogwaardige stromen, de vrije markt regelt zelf voor welke kunststofstroom welke techniek economisch het meest rendabel is, etc.)

Om te zorgen dat dit afwegingskader actief gebruikt wordt, is het nodig dat ketenpartijen zich organiseren. Hierdoor ontstaat een platform waarin gezamenlijke initiatieven opgepakt kunnen worden. Daarnaast dient het platform om het afwegingskader vast te stellen en toe te passen wanneer afwegingen gemaakt moeten worden over specifieke gezamenlijke acties en (stimulerings)maatregelen die individuele bedrijfsbelangen overstijgen. Het afwegingskader kan helpen de transitie in gang te zetten en kan gedurende deze transitie geactualiseerd worden.

Definiëren van afwegingskader chemische recycling		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Opzetten werkgroep chemische recycling kunststoffen.	Chemische recyclinginitiatieven, inzamelaars/sorteerders, recyclers, Rijksoverheid, verpakkend bedrijfsleven	Ontwikkelen kennis, ondernemen van acties, zorgen voor financiering.
Opstellen afwegingskader chemische recycling.	Chemische recyclinginitiatieven, inzamelaars/sorteerders, recyclers, Rijksoverheid, Afvalfonds Verpakkingen, verpakkend bedrijfsleven	Ontwikkelen individuele doelen stakeholders, basis voor beleidskader voor Rijksoverheid en gezamenlijke doelstelling voor werkgroep.
Verkennen van scenario's waarin mogelijke combinaties van verschillende mechanische en chemische recyclingtechnieken worden ingezet. KIDV kan informatie bieden.	VNO-NCW, Rijksoverheid, chemische recyclinginitiatieven, recyclers, verpakkend bedrijfsleven	Inzicht in de beschikbare inputstromen, klimaatimpact en bijbehorende kosten van verschillende scenario's.

## Stap 2: Doorontwikkeling van kennis en techniek chemische recycling

Om chemische recycling te kunnen opschalen is kennis nodig bij stakeholders over de (on)mogelijkheden van de verschillende processen. De link tussen de chemische- en afvalsector wordt

gelegd en dat vraagt om kennis over beide werelden. In onderstaande tabel lichten we toe welke technische uitdagingen nog aangepakt moeten worden, en welke ketenpartijen hierbij aan zet zijn.

Doorontwikkeling van kennis en techniek chemische recycling		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Definiëren van gemeenschappelijke kennisvragen, wat basis vormt voor uitzetten gezamenlijke onderzoeken vanuit de stakeholders.	Chemische recyclinginitiatieven, inzamelaars/sorteerders, recyclers, Rijksoverheid, verpakkend bedrijfsleven	Opvullen kennishiaten en kennis verspreiden onder stakeholders (gelijk kennisniveau).
Onderzoeken welke technologische ontwikkeling in Nederland, in aansluiting op wat er al in de landen om ons heen gebeurt, gestimuleerd dient te worden.	Chemische industrie, Rijksoverheid	Uitbouwen van de kennispositie van Nederland op het gebied van chemische recycling
Onderzoeken technische (on)mogelijkheden en huidige belemmeringen voor chemisch recycelen van de sorteer- en recycleverliezen.	Chemische recyclinginitiatieven, sorteerders, recyclers	Vergroten van potentiële feedstock en verhogen recyclepercentage.
Onderzoeken logistieke en economische constructies om stromen die niet (of moeilijk) mechanisch gerecycled worden, chemisch te recycelen.	Chemische recyclinginitiatieven, sorteerders, Afvalfonds Verpakkingen	Vergroten van potentiële feedstock en verhogen recyclepercentage.
Onderzoeken waar wetgeving en stimuleringsmaatregelen de chemische omzetting tot brandstof stimuleren, ten koste van het toepassen van de output van chemische recycling als grondstof.	Rijksoverheid	Stimuleren van chemische recycling die leidt tot nieuwe grondstoffen.
Verkennen van mogelijkheden om solvolyse toe te passen voor het scheiden van multilayers (aansluitend op de ontwikkelingen binnen CeFlex <sup>8</sup> ) of ontdoen van additieven.	Producenten verpakkingen, verpakkend bedrijfsleven en chemische recyclinginitiatieven	Multilayer verpakkingen zijn mechanisch slecht recyclebaar, maar hebben gunstige functionaliteiten voor voedselverpakkingen.
Onderzoeken wat voorwaarden zijn voor private investeerders om te investeren in opschaling.	Verpakkend bedrijfsleven, chemische recyclinginitiatieven of chemische industrie, Rijksoverheid (Invest-NL)	Komen tot financiering van opschaling chemische recycling.

<sup>8</sup> CeFlex is een project waar ketenpartijen in Europees verband werken aan optimalisatie van flexibele verpakkingen, van design tot recycling. In een van de CeFlex projecten worden multilayer verpakkingen onderzocht die beter recyclebaar zijn of recyclemethoden onderzocht die aansluiten op de huidige multilayer verpakkingen.

Onderzoeken welke (resten van) inhoud van verpakkingen chemische recyclingprocessen kan verstoren.	Chemische recyclinginitiatieven	Input voor richtlijnen design for chemical recycling.
--	---------------------------------	---

### Stap 3: Wegnemen belemmeringen en bevorderen vestigingsklimaat

Op dit moment lopen partijen die chemische recyclingtechnieken willen opschalen tegen belemmeringen aan van financiële, technische, juridische of beleidsmatige aard. Deze belemmeringen moeten scherp in beeld komen zodat deze indien mogelijk weggenomen kunnen worden. Daarnaast is van belang te weten wat er nodig is om een aantrekkelijk vestigingsklimaat te scheppen voor chemische recyclingbedrijven.

Wegnemen belemmeringen en bevorderen vestigingsklimaat		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Invullen van de voorwaarden van private investeerders om te investeren in opschaling van chemische recycling.	Verpakkend bedrijfsleven, chemische recyclinginitiatieven of chemische industrie, Rijksoverheid (Invest-NL)	Komen tot financiering van opschaling chemische recycling.
Investeren in gunstig vestigingsklimaat voor chemische industrie.	Rijksoverheid, Provincies en Gemeenten	Het aantrekken van chemische industrie die bijdraagt aan circulaire ambities.
Ontwikkelen van slimme samenwerkingsconstructies tussen chemische industrie en de afvalverwerking i.v.m. investeringskosten en logistieke kosten voor het organiseren van feedstock (zoals kunststof uit recycleverliezen en andere afvalstromen).	Afvalfonds Verpakkingen, inzamelaars, sorteerdere, chemische recyclinginitiatieven, AEC's, chemische industrie	Ontwikkelen van kansen om investeringskosten te besparen.
Continueren stimuleringsubsidie(s) voor kansrijke technieken op basis van prestaties op grondstoffenbehoud en klimaatwinst.	Ministeries van EZK en I&W	Europese klimaatdoelstellingen en Transitieagenda's/ Grondstoffenakkoord.
Ruimte bieden voor ontwikkeling van (specifieke) chemische recyclingtechnieken voor kunststof verpakkingen bij eventuele wijzigingen van afspraken in de Raamovereenkomst Verpakkingen (2013-2022) n.a.v. de evaluatie.	Raamovereenkomst-partijen	Vergroten van het aandeel gerecyclede kunststof verpakkingen.

Inrichten vergoedingensystematiek Raamovereenkomst Verpakkingen (2013-2022) en Uitvoerings- en monitoringprotocol zodat er ruimte is voor het afzetten van gesorteerd kunststof verpakkingsafval bij chemische recyclers.	Afvalfonds Verpakkingen	Vergroten van het aandeel gerecyclede kunststof verpakkingen.
Beleid inrichten om (op termijn) alle output van chemische recycling toe te passen als grondstof (in plaats van brandstof).	Europese Commissie, Rijksoverheid	Stimuleren grondstoffenbehoud.
Opzetten van transitieregime of transitiebeleid om indien nodig tijdelijke ruimte te bieden om output van chemische verwerking in te zetten als brandstof ter bevordering van business cases.	Rijksoverheid	Opschalen van chemische recycling in Nederland.
Stimuleren van verwerking van de huidige stroom mix kunststoffen en/of kunststof verpakkingen in residu middels chemische recycling in Nederland.	Chemische recyclinginitiatieven, Rijksoverheid	Verwerken van kunststof verpakkingen uit Nederlandse afvalstromen in Nederland en niet in buitenland.

#### Stap 4: Stimuleren vraag naar hoge kwaliteit recycalaat

Het vergroten van de vraag naar hoge kwaliteit materialen en grondstoffen, en daarmee de concurrentie aan te gaan met virgin grondstoffen, is essentieel voor het opschalen van chemische recycling. Daarbij is het essentieel dat chemische recycling leveringszekerheid kan bieden van materialen of grondstoffen die gelijk zijn aan fossiele grondstoffen qua eigenschappen en prijs.

Stimuleren vraag naar hoge kwaliteit recycalaat		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Implementeren van beleidsmaatregelen die de vraag naar gerecyclede kunststoffen en grondstoffen vergroten en daardoor chemische recycling stimuleren (bijvoorbeeld CO <sub>2</sub> -belasting op virgin kunststoffen).	Rijksoverheid, Europa	Realiseren ambities uit Transitieagenda Kunststoffen en Maakindustrie m.b.t. grondstoffenbehoud.
Verkennen van mogelijkheden om output van solvolyse en depolymerisatie aan te merken als recycalaat dat ingezet mag worden in foodgrade toepassingen.	Rijksoverheid o.b.v. EFSA	Vergroten toepassingsmogelijkheden en vraag naar gerecyclede kunststoffen.
In beeld brengen van de vraag (en dus afzetmarkt) naar gerecyclede grondstoffen voor verpakkingen en vertalen naar output mechanische en chemische recycling.	Verpakkend bedrijfsleven, chemische recyclinginitiatieven, recyclers	Leveringszekerheid van gerecyclede grondstoffen

### Stap 5: Design for (chemical) recycling

Het is belangrijk om te voorkomen dat stoffen voor (mechanische en) chemische recycling worden gebruikt in verpakkingen. Daarom is het belangrijk dat in beeld wordt gebracht wat deze stoffen zijn en te komen tot 'design for chemical recycling' richtlijnen om het gebruik van deze stoffen terug te dringen.

Design for (chemical) recycling		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Opstellen van design for chemical recycling richtlijnen.	Chemische recyclinginitiatieven en verpakkend bedrijfsleven	Zorgen voor kennisverspreiding over 'design for chemical recycling' in verpakkingen
Terugdringen van stoffen in verpakkingen die chemisch gerecycled worden.	Chemische recyclinginitiatieven, verpakkend bedrijfsleven en sorteerdere	Technische verbetering van chemische recycling van verpakkingen

### Stap 6: Verhogen kwantiteit en kwaliteit inputstromen voor chemische recycling

Voor een sluitende business case is de leveringszekerheid van inputstromen essentieel. Daarom is het belangrijk dat voldoende kwantiteit en kwaliteit van de inputstromen voor chemische recycling gegarandeerd zijn. De input van kunststof verpakkingen dient in perspectief te worden gezien: afhankelijk van het type chemische recyclingproces vormen kunststof verpakkingen slechts een aandeel van de totale feedstock.

Verhogen kwantiteit en kwaliteit inputstromen voor chemische recycling		
Actie	Ketenpartij	Drijfveer
Concretiseren en, indien nodig voor bereiken van gunstige schaalgrootte, organiseren van importmogelijkheden (o.a. stroom PET). Bijvoorbeeld door in gesprek te gaan met buitenlandse overheden om (bepaalde vormen van) chemische recycling op EU-niveau aan te merken als vorm van recycling.	Rijksoverheid	Schaalgrootte bereiken, genereren van recyclemarkt voor Nederland.
Organiseren van import van kunststofverpakkingsstromen die gelijk zijn aan de Nederlandse. Bijvoorbeeld door in gesprek te gaan met buitenlandse producentenverantwoordelijkheidsorganisaties (Fost Plus, DSD, etc).	Chemische recyclinginitiatieven, recyclers en Afvalfonds Verpakkingen	Schaalgrootte bereiken, genereren van recyclemarkt voor Nederland.

Organiseren en bieden van leveringszekerheid van inputstromen voor chemische recyclingbedrijven (met name solvolyse en depolymerisatie).	Chemische recyclinginitiatieven en sorteerdere	Dit geldt voor alle inputstromen. Realiseer een minimale hoeveelheid PET voor investering in een installatie in NL.
Optimaliseren inzameling en sortering van kunststof verpakkingen van huishoudens en KWD-sector.	Gemeenten, Rijksoverheid	Behalen van de VANG scheidingsdoelstellingen voor huishoudelijk- en KWD-afval en uiteindelijk bijdragen aan recycledoelstellingen.
Zorgen voor aansluiting tussen de stromen kunststof verpakkingen uit de KWD-sector die niet geschikt zijn voor mechanische recycling, dus beschikbaar voor chemische recycling, en de feedstock-eisen die specifieke chemische recyclingtechnieken kennen. Bijvoorbeeld door gerichte inzameling en/of sortering.	Rijksoverheid, inzamelaars, chemische recyclinginitiatieven	Leveringszekerheid van feedstock
Onderzoeken van mogelijkheden voor uitbreiding producentenverantwoordelijkheid voor andere kunststof producten.	Rijksoverheid	Verhoging van de (gescheiden) inzameling van kunststof producten, naast verpakkingen.
Onderzoeken van mogelijkheden om kunststof uit elektrische en elektronische apparatuur chemisch te recyclen. Invoering van Weelabex <sup>9</sup> regelgeving leidt tot meer ingezamelde kunststof.	Chemische recyclinginitiatieven en afnemers van kunststofrecycalaat uit elektrische en elektronische apparatuur	Hoogwaardige toepassing van gerecyclede (harde) kunststoffen uit elektrische en elektronische apparatuur.

<sup>9</sup> Waste Electric and Electronic Equipment LABEL of Excellence (Weelabex) is een initiatief van Europese inzamelorganisaties voor elektrische en elektronische apparatuur, waaronder Wecycle, die zijn verenigd in het WEEE Forum.



## 2 Samenvatting bevindingen en conclusies chemische recycling van kunststof verpakkingen

De analyse van chemische recycling van kunststof verpakkingen (deel 2 van deze rapportage) vormt het fundament onder de conclusies en acties. In de analyse zijn de kansen voor Nederland geïventariseerd die chemische recycling biedt en een economische en klimaatanalyse uitgevoerd naar de verschillende chemische recycling technieken. De bevindingen en conclusies zijn gebaseerd op de statische weergaven van hoe de verschillende processen presteren, gebaseerd op vier onderzochte voorbeeldprocessen op pilot-schaal. De informatie omtrent de processen is niet gebaseerd op prestatie op industriële schaal en kent een relatief grote mate van onzekerheid.

### 2.1 Chemische recycling naast mechanische recycling

Chemische recycling kan op korte termijn als aanvulling op mechanische recycling worden ingezet om de beperkingen en praktische knelpunten die mechanische recycling kent te ondervangen. Zo zijn niet alle kunststofsoorten goed mechanisch te recyclen. De input voor mechanische recycling moet over een bepaalde mate van zuiverheid beschikken om kwaliteit van het recyclaat te garanderen. Plastic composieten, laminaten, papieren stickers of labels en organische resten vormen een probleem. Daarnaast kan de aanwezigheid van (niet-kunststof) vervuilingen en bepaalde type folies leiden tot het vastlopen van de mechanische recycle-apparatuur. Daarnaast speelt ook geur een rol. Mechanisch gerecycled kunststof van verpakkingen die zijn ingezameld via huishoudelijke inzamelsystemen of via het bedrijfsafval, is nu veelal niet inzetbaar voor foodgrade toepassingen<sup>10</sup>. Kunststof verpakkingen kunnen een beperkt aantal recycle-cycli doorlopen, omdat de kwaliteit na iedere recyclingronde afneemt. Om de kwaliteit op niveau te houden is bijmengen van virgin kunststof op dit moment noodzakelijk. Om de kunststofketen op korte termijn verder te sluiten moeten acties worden ingezet om mechanische recycling te optimaliseren, zodat meer stromen mechanisch gerecycled kunnen worden en tegelijkertijd wordt gestreefd naar meer kwaliteit na recycling. Op de langere termijn kunnen chemische recyclingtechnieken mogelijkmechanische recyclingtechnieken vervangen door marktwerking, bijvoorbeeld door een toenemende vraag naar gerecyclede grondstoffen die foodgrade of hoogwaardig toegepast kunnen worden.

In deze studie zijn inputstromen geïdentificeerd die niet of moeilijk (hoogwaardig) mechanisch te recyclen zijn en daarom op dit moment kansrijk zijn om chemisch te verwerken. In de praktijk kunnen chemische recyclingprocessen de concurrentie aangaan met mechanische recycling. De markt kan, of zal, bepalen hoe mechanische- en chemische recyclingprocessen zich tot elkaar verhouden.

Om de kansen en mogelijkheden van chemische recycling van kunststof verpakkingen in Nederland verder te onderzoeken zijn analyses gedaan naar de economische haalbaarheid, de klimaatimpact en de kansen voor Nederland van chemische recycling. Daarnaast zijn de barrières en kansen voor

---

<sup>10</sup> Een van de richtlijnen van de EFSA – tenminste 95% van het materiaal in het recyclingproces moet te herleiden zijn naar materiaal afkomstig uit de voedingsmiddelenindustrie – beperkt grootschalige toepassing van gerecyclede kunststoffen in kunststof voedselverpakkingen. Dit is niet traceerbaar voor verpakkingen die via brede inzamelsystemen of nascheiding zijn ingezameld. Met uitzondering van de PET-flessen uit de statiegeldstroom.

chemische recycling van kunststof verpakkingen in beleid en regelgeving in kaart gebracht. Hiervoor is voor ieder van de vier hoofdtechnieken van chemische recycling (solvolyse, depolymerisatie, pyrolyse, vergassing) één gemodelleerd voorbeeldproces verder uitgewerkt (tabel 1 laat zien van welke inputstromen en outputstromen per chemische recycling techniek is uitgegaan). In deze analyse hanteren we de uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 1.1.

Doelstelling en definitie	Chemische recycling techniek	Voorbeeldprocessen			Kenmerken
		Voorbeeld-proces	Inputstroom	Outputstroom	
<b>Doelstelling:</b> chemische recycling van kunststof verpakkingen die nog niet, of moeilijk, mechanisch gerecycled worden	Solvolyse	Creasolv	EPS met broomhoudende brandvertragers (uit de bouw)	PS en Broom	<b>Hoge eisen aan samenstelling input</b>  <b>Hoge kwaliteit output, weinig bewerking nodig om tot kunststofkorrel</b> vergelijkbaar met virgin en in te zetten als kunststof (verpakkingen)
	Depolymerisatie	PET glycolyse	PET-trays	BHET <sup>11</sup>	
<b>Definitie chemische recycling conform LAP3:</b> output wordt toegepast als grondstof voor de 'maak-industrie'	Pyrolyse	Snelle lage temperatuur pyrolyse	Mix kunststoffen <sup>12</sup>	Nafta, diesel en gas <sup>13</sup>	<b>Heterogene input nodig, breder dan kunststof verpakkingen</b> bij vergassing bestaat maximaal 20% van de feedstock uit kunststof  <b>Output kan opnieuw worden toegepast als grondstof</b> (voor kunststof) dan zijn bewerkingsstappen nodig  <b>Output kan ook toegepast worden als brandstof</b> (dit is geen recycling volgens definitie in LAP3)
	Vergassing	Hoge temperatuur vergassing	Recycleverliezen	Syngas of methanol	

Tabel 1: Aandachtspunten bij de vier gemodelleerde voorbeeldprocessen van de technieken van chemische recycling.

<sup>11</sup> Tussenproduct in de productie van PET.

<sup>12</sup> Waar in deze analyse wordt gesproken over de stroom mix kunststoffen worden kunststof verpakkingen bedoeld die niet recyclebaar zijn via een mono-stroom. Deze komen terecht in de gesorteerde stromen volgens de specificaties DKR 350 of DKR 352. Vanaf een nog nader te bepalen moment zullen deze specificaties worden vervangen door de nieuwe sorteerspecificatie voor de Mixed Polyolefinen (MPO) materiaalstroom.

<sup>13</sup> De toepassing van het geproduceerde diesel en gas als brandstof valt buiten de gehanteerde definitie van chemische recycling (zie definities in kader hoofdstuk 3.1).

De analyse van de vier voorbeeldprocessen van chemische recyclingtechnieken van kunststof verpakkingen<sup>14</sup> levert de volgende aandachtspunten op:

- Ieder van de vier technieken vraagt een verschillende inputstroom en produceert andere outputs. Dit betekent dat de technieken onderling onvergelykbaar zijn en naast elkaar bestaan.
- De outputs van solvolyse- en depolymerisatieprocessen liggen dicht tegen een kunststofkorrel aan en kennen daardoor een kortere cyclus dan pyrolyse- en vergassingsprocessen.<sup>15</sup>
- Solvolyse en depolymerisatie kennen een output van zuivere polymeren of monomeren, vergelijkbaar met virgin kunststoffen. Beide technieken stellen hoge eisen aan de inputstromen.
- Bij vergassing vormt de inputstroom kunststof verpakkingen slechts een aandeel van de feedstock voor het recyclingproces: er worden overwegend andere afvalstromen ingezet naast de stroom kunststof verpakkingen. De samenstelling van de feedstock is onder andere afhankelijk van het verschil in energetische waarde van de inputstromen, de output die het proces oplevert en de tarieven voor de inputstromen. De andere inputstromen die naast kunststof verpakkingen worden verwerkt zijn sterk relevant voor de business case en het opschalingspotentieel. In het geval van pyrolyse bestaat de feedstock overwegend uit kunststoffen, maar kan ook een beperkt aandeel niet-kunststoffen bevatten.
- Vergassing en pyrolyse zijn minder gevoelig voor fluctuaties in de samenstelling van de feedstock.
- Een deel van de outputs van pyrolyse- en vergassingsprocessen is ook toe te passen als brandstof. In dat geval vallen de processen niet onder de huidige LAP3 definitie van chemische recycling.

## 2.2 Belangrijkste bevindingen

Om te komen tot de conclusies en acties voor opschaling zijn een economische en een klimaatanalyse van vier voorbeeldprocessen van chemische recycling van kunststof verpakkingen uitgevoerd. Daarnaast is gekeken naar de kansen die opschaling van chemische recycling van kunststof verpakkingen biedt voor Nederland en de barrières en kansen in regelgeving en beleid. De belangrijkste bevindingen die uit de analyses naar voren kwamen, zijn:

Kansen chemische recycling technieken (uitgebreide bevindingen staan in hoofdstuk 3.1)

1. Chemische recycling van kunststof verpakkingen biedt onder meer een oplossing voor de afnemende kwaliteit van de polymeerketens na iedere kringloop. Chemische recycling kan omgaan met relatief complexe stromen en het kunststof ontdoen van verontreiniging en additieven.
2. Het realiseren van de ambitie uit de Transitieagenda Kunststoffen in Nederland biedt kansen voor Nederland om de koploerspositie op het gebied van inzamelen, sorteren en recyclen van kunststof verpakkingen, uit te bouwen naar een koploerspositie op chemische recycling.
3. Op basis van deze ambitie biedt een capaciteit van 250 kton output van chemische recycling, uitgaande van een capaciteit van gemiddeld 50 kton input per fabriek de ruimte om in Nederland minimaal vijf installaties te realiseren. Dit leidt tot economisch voordeel in de vorm van banen en geeft een impuls aan de kennisontwikkeling rond chemische recycling.

<sup>14</sup> Zie hiervoor hoofdstuk 5 uit Deel 2 van deze analyse.

<sup>15</sup> Deze processen breken de kunststof verpakkingen af naar chemische bouwstenen. Hierna zijn verwerkingsstappen nodig zijn om de outputs syngas en/of nafta op te werken tot een grondstof (voor kunststof).

4. Pyrolyse en vergassing zijn de chemische recyclingstechnieken die op korte termijn geschikt zijn voor de verwerking van kunststofstromen die nu moeilijk of nog niet mechanisch gerecycled worden (mix kunststoffen en kunststof verpakkingen uit de recycleverliezen) en dragen daardoor bij aan de recycling van kunststof verpakkingen. De output van pyrolyse en vergassing bestaat uit brandstoffen en/of chemicaliën. Dit kan opnieuw toegepast worden als grondstof en zo bijdragen aan een circulaire economie. De output kan ook toegepast worden als brandstof, in dat geval is er volgens de gehanteerde definitie geen sprake van chemische recycling, maar van chemische omzetting.
5. Solvolyse kan op de lange termijn meerwaarde bieden voor de recycling van niche kunststof verpakkingen. Een voorbeeld hiervan is dat de lagen PP en PE in multilayer verpakkingen via oplossing van elkaar of van andere materialen (aluminium) gescheiden worden. Op dit moment is dit economisch niet aantrekkelijk en worden deze verpakkingen verwerkt via mechanische recycling. Echter leidt de huidige mechanische recycling tot minder toepassingsmogelijkheden, doordat multilayer verpakkingen in de stroom mix kunststoffen belanden of uitvallen tijdens het sorteren of recyclen en vervolgens verbrand worden.
6. Depolymerisatie is een kansrijke techniek voor PET-verpakkingen (waaronder PET-trays en DKR 328-1) die op dit moment grotendeels al mechanisch worden gerecycled. De meerwaarde van depolymerisatie boven mechanische recycling is dat rPET na depolymerisatie foodgrade toegepast kan worden, doordat het wordt ontdaan van geur, kleur en additieven.
7. Het belang van het van de grond krijgen van chemische recycling van kunststof verpakkingen gaat verder dan alleen het belang van de recycler (waar de financiële waarde primair neerslaat). Minstens net zo aanwezig zijn de maatschappelijke belangen en niet-financiële bedrijfsbelangen van betrokken stakeholders, bijvoorbeeld leveringszekerheid en risico-afwegingen van producenten van verpakte producten (het afwegingskader voor de opschaling van chemische recycling in Nederland uit stap 1 van de acties kan hierbij een rol spelen).

Klimaatimpact (uitgebreide bevindingen staan in hoofdstuk 5)

8. De klimaatimpact van de geanalyseerde voorbeeldprocessen wordt vooral bepaald door energiegebruik en hulpstoffen, vervanging van virgin grondstoffen en emissies van broeikasgassen.
9. De CO<sub>2</sub>-reductie in de keten van solvolyse en depolymerisatie is vergelijkbaar met die van mechanische recycling. Die van pyrolyse en vergassing is ongeveer de helft daarvan ten opzichte van verbranding een AEC.
10. Depolymerisatie van PET-trays heeft een klimaatimpact vergelijkbaar met mechanische recycling van PET tot foodgrade kwaliteit<sup>16</sup>. De positieve klimaatimpact wordt met name bepaald door de vervanging van virgin PET.
11. Solvolyse van EPS met broomhoudende brandvertragers uit de bouw<sup>17</sup> heeft een klimaatvoordeel dat vergelijkbaar is met mechanische recycling van deze stroom ten opzichte van verbranding. Solvolyse kent vergelijkbare mogelijkheden als depolymerisatie waar het gaat om het kunststof ontdoen van kleur, geur of additieven.
12. De klimaatimpact van depolymerisatie van PET en van pyrolyse van de stroom mix kunststoffen is in beide gevallen vergelijkbaar met die van mechanische recycling van de betreffende stroom

---

<sup>16</sup> Qua klimaatimpact scoort magnetische depolymerisatie slechter dan mechanische recycling van PET, de techniek die als referentie is aangehouden in de klimaatanalyse omdat PET-trays momenteel nog niet als monostroom mechanisch gerecycled worden. De stappen om PET na mechanische recycling geschikt te maken voor foodgrade toepassing resulteren onder de streep tot een vergelijkbaar klimaatvoordeel van mechanische en als chemische recycling ten opzichte van verbranding.

<sup>17</sup> Deze inputstroom is geen verpakkingsstroom, maar hebben we wel als inputstroom gehanteerd in het gemodelleerde voorbeeldproces van solvolyse, omdat dit een beschikbare kunststofstroom is die op dit moment al op pilotschaal chemisch gerecycled wordt.

kunststof verpakkingsafval. Bij pyrolyse of vergassing van recycleverliezen is sprake van een klimaatvoordeel in vergelijking met de huidige verwerkingstechniek, want verbranding wordt voorkomen en de output vervangt een brandstof of chemicaliën.

13. Pyrolyse van de stroom mix kunststoffen heeft een vergelijkbare klimaatimpact als mechanische recycling. Mechanische recycling van de stroom mix kunststoffen heeft echter een lagere CO<sub>2</sub>-reductie per ton in vergelijking met mechanische recycling van mono-stromen. Kortom de norm om vergelijkbaar te presteren wat betreft klimaatimpact ligt lager. Afhankelijk van het type pyrolyse proces, bestaat de output uit (een combinatie van) brandstof en/of chemicaliën, waaronder nafta. Nafta is een waardevol chemisch product dat direct naar nieuwe kunststoffen kan worden omgezet.
14. Vergassing van kunststof verpakkingen uit sorteer- en recycleverliezen of mix kunststoffen heeft een klimaatvoordeel in vergelijking met mechanische recycling van de stroom mix kunststoffen of verbranding van de sorteer- en recycleverliezen in een Afval Energie Centrale (AEC). De output van vergassing is syngas dat kan worden ingezet als brandstof of kan worden verwerkt tot methanol. Dit kan toegepast worden als bouwsteen voor grondstoffen, of als brandstof.

Economische haalbaarheid (uitgebreide bevindingen staan in hoofdstuk 5)

15. Het starten van chemische recyclinginstallaties is kapitaalintensief, het grootste aandeel vormen de productiekosten. Deze worden beheerst door de operationele kosten zoals energie en onderhoud.
16. De operationele kosten van de voorbeeldprocessen van solvolyse en depolymerisatie worden voornamelijk beheerst door de energiekosten.
17. De operationele kosten van pyrolyse worden sterk beïnvloed door de voorbereiding van de inputstroom kunststof verpakkingen; verbranding van het off-gas dat vrijkomt bij het pyrolyseproces levert de benodigde procesenergie voor de pyrolyse waardoor energiekosten beperkt worden.
18. De operationele kosten van het vergassingsproces worden sterk beïnvloed door de kosten van zuurstof en waterstof. Voor vergassing naar syngas en daarna de reactie naar methanol zijn deze industriële gassen nodig.
19. Bij alle onderzochte voorbeeldprocessen zijn de productiekosten afhankelijk van de feedstockprijs. Deze prijs fluctueert met de eigen vraag- en aanbodmarkt.
20. De mogelijke brutowinst van de onderzochte voorbeeldprocessen wordt daarnaast mede bepaald door de afzetprijs van de output. Deze afzetprijs is afhankelijk van de kunststofmarkt en de olieprijs.
21. Voor de vier gemodelleerde voorbeeldprocessen geldt dat de feedstockprijs en schaalgrootte het meest bepalend zijn voor de productiekosten: een lage feedstockprijs en opschaling heeft een gunstig effect. De olieprijs heeft in mindere mate effect.
22. Bij vergassing heeft schaalgrootte een significant effect op de productiekosten: de schaalgrootte is een doorslaggevende factor voor een positieve business case.
23. Twee stimulerende factoren die van positieve invloed kunnen zijn op de business cases, zijn: investeringen van bedrijven die verpakte producten op de markt brengen en leveringszekerheid van (gerecyclede) kunststof willen en stimuleringsmaatregelen voor recycling door de overheid.
24. Leveringszekerheid van de inputstromen kunststof verpakkingsafval is essentieel om zowel de kwaliteit als kwantiteit te waarborgen.
25. Voor solvolyse- en depolymerisatie-processen is er sprake van concurrentie met mechanische recycling. Het is essentieel om feedstockstromen te identificeren die lastig mechanisch te recyclen zijn (bijvoorbeeld door de aanwezigheid van additieven): dit zijn de kansrijke stromen voor chemische recycling.

26. Pyrolyse en vergassing hebben de mogelijkheid om bredere feedstockstromen te verwerken (bijvoorbeeld huishoudelijk afval, biogene stromen) waar de kunststof verpakkingen kunnen worden bijgemengd.
27. De kwaliteit van de feedstock is essentieel omdat een lage kwaliteit leidt tot een lagere productopbrengst en/of hoge voorbereidingskosten van de feedstock. Dit beïnvloedt direct de winstmarge van het recyclingproces. Afspraken tussen de chemische recycler en de afvalinzamelaars of –sorteerders zouden moeten leiden tot goede kwaliteit input.
28. Voor de onderzochte voorbeeldprocessen zijn positieve business cases (dat wil zeggen, mogelijke brutowinsten te behalen) mogelijk wanneer er:
  - a. Gunstige technische parameters worden gehanteerd (onder andere schaalgrootte);
  - b. De operationele kosten beheerst of verbeterd worden (bijvoorbeeld de kosten van benodigde hulpstoffen);
  - c. Stimulerende maatregelen worden ingezet (bijvoorbeeld subsidies of gunstige leningen) en
  - d. Het huidige systeem waarin het inzamelen en sorteren van kunststof verpakkingsafval vergoed wordt, gecontinueerd blijft.
29. Doelstellingen of ambities voor het mogelijk maken van hoogwaardiger recyclen van laminaten kunnen bijdragen om solvolyse voor kunststof verpakkingen op pilot- en industriële schaal te realiseren.
30. In het geval van het opschalen van depolymerisatie-processen voor kunststof verpakkingen is betrokkenheid van producenten en importeurs van verpakte producten wenselijk. Zij kunnen leveringszekerheid bieden voor geschikte inputstromen voor depolymerisatie en afzet van de gerecyclede grondstoffen garanderen.

Ambitie Transitieagenda Kunststoffen (toelichting staat beschreven in hoofdstuk 6)

31. De ambitie uit de Transitieagenda Kunststoffen om jaarlijks 250 kton output van chemische recycling van kunststoffen (zowel uit verpakkingen als producten) te realiseren, is haalbaar op basis van alleen de kunststof verpakkingen die op dit moment niet mechanisch gerecycled worden als inputstroom. Daarvoor is nodig dat de huidige inzamelsystemen worden geoptimaliseerd of kunststof verpakkingen uit buurlanden worden geïmporteerd. Anders zijn ook andere kunststofstromen dan verpakkingen nodig als feedstock om deze ambitie te realiseren.
32. Andere kunststofstromen die hiervoor ingezet zouden kunnen worden:
  - Kunststof verpakkingsafval van bedrijven dat nu niet gescheiden wordt ingezameld. Een groot deel van deze stroom, met name het kunststof verpakkingsafval uit de Kantoor Winkel en Diensten (KWD) sector, zou bijvoorbeeld (gericht) gescheiden ingezameld, of gesorteerd, kunnen worden, naar types kunststof die aansluiten bij de feedstock-eisen voor chemische recycling.
  - Kunststoffen uit de bouw of automotive, bijvoorbeeld broomhoudend EPS is nu al een kansrijke stroom om te verwerken via solvolyse en wordt in deze analyse meegenomen in de klimaat- en kostenanalyse.
  - Geïmporteerd kunststof verpakkingsafval.

Barrières en kansen in regelgeving (uitgebreide bevindingen staan in hoofdstuk 6)

33. De huidige regelgeving is gedeeltelijk ingericht om chemische recycling op termijn mogelijk te maken. Op dit moment wordt in regelgeving onderscheid gemaakt tussen chemische recyclingprocessen en processen die leiden tot energie of brandstof. Er is sprake van recycling wanneer de output opnieuw wordt toegepast als grondstof in de maakindustrie<sup>18</sup>, niet in het

---

<sup>18</sup> Gehanteerde definitie van chemische recycling in LAP3.

geval van de chemische verwerkingsprocessen waarvan de output als energie of brandstof wordt ingezet.

34. In het Rijksbrede programma Circulaire Economie en in het uitvoeren van diverse subsidieregelingen benoemt de Rijksoverheid haar beleidsambities rond het stimuleren van chemische recycling van kunststoffen. Ook LAP3 biedt de mogelijkheid chemische recycling te laten meetellen in recyclingdoelstellingen, wanneer de output wordt toegepast als grondstof in de maakindustrie<sup>19</sup>.
35. Stimuleringsmaatregelen voor biobrandstoffen kunnen mede van invloed zijn op het al dan niet toepassen van de output van pyrolyse en vergassing als grondstof of als brandstof. Afhankelijk van de samenstelling van de inputstromen (deze bestaan naast kunststof verpakingsafval voor een groter deel uit bijvoorbeeld biomassa of reststromen) kan het (stimulerings)beleid voor biobrandstoffen een push geven aan toepassing van de output als brandstof. Dit leidt tot concurrentie tussen hernieuwde inzet als grondstof (via waste-to-chemicals) of verwerking van afval tot brandstof (waste-to-fuels).
36. Het huidige systeem van vergoedingen en sorteerspecificaties voor kunststof verpakkingen geeft op dit moment geen prikkel aan gemeenten, inzamelaars en sorteerdere om chemische recycling in te zetten, doordat inzamel- en sorteervergoedingen niet gelden voor kunststof verpakkingen die worden verwerkt door een chemische recycler.

### 2.3 Conclusies

1. Vanuit technisch perspectief is het mogelijk om via chemische recycling gerecycled kunststof of nieuwe grondstoffen te produceren van een kwaliteit gelijk aan virgin kwaliteit.
2. De vraag van producenten naar gerecycled kunststof van kwaliteit gelijk aan virgin kunststoffen groeit. Dit kan op dit moment, of op termijn, leiden tot verdere ontwikkeling en opschaling van chemische recycling van kunststof verpakkingen.
3. Commitment of investeringen in chemische recyclinginstallaties door het verpakkende bedrijfsleven of spelers uit de grondstoffenindustrie zijn noodzakelijk om chemische recycling van de grond te krijgen<sup>20</sup>. Hiermee creëren producenten leveringszekerheid van gerecyclede kunststoffen die aan hun eisen voldoen en kunnen zij invulling geven aan duurzaamheidsambities. De samenwerkingen in de kunststofketen leiden tot beter op elkaar afgestemde vraag en aanbod.
4. Echter, chemische recycling is geen heilige graal waarmee alle kunststof verpakkingen in één type proces naar een kwaliteit gelijk aan virgin materiaal gerecycled kunnen worden. Chemische recycling is een verzamelnaam voor specifieke processen met ieder eigen eisen aan de inputstroom van kunststof verpakkingen. Zo vereisen depolymerisatie-processen een homogene inputstroom van alleen polycondensaten. Vergassingsprocessen kunnen een meer heterogene feedstock aan, waarbij de kunststofstroom een beperkt aandeel van de totale feedstock inneemt. In het geval van pyrolyse bestaat de feedstock overwegend uit kunststoffen, maar kan ook een beperkt aandeel niet-kunststoffen bevatten. Daarnaast vormen de outputs van de verschillende chemische recycling technieken niet alleen grondstoffen voor kunststof verpakkingen, maar ook grondstoffen die gebruikt kunnen worden in andere materialen of ingezet kunnen worden als brandstof.
5. Chemische recycling van kunststof verpakkingen past binnen de circulaire economie wanneer de output van het recyclingproces wordt ingezet om tot nieuwe grondstoffen te komen. Regelgeving

---

<sup>19</sup> Definitie van chemische recycling volgens LAP3.

<sup>20</sup> Recent zijn verschillende samenwerkingen tussen producenten van kunststofproducten- of verpakkingen met (chemische) recyclingbedrijven van de grond gekomen. Unilever kondigde begin april 2018 een samenwerking aan met start-up Ioniqa en PET-producent Indorama Ventures. De bedrijven ontwikkelen gezamenlijk een nieuwe technologie om PET-afval om te zetten in zuivere kunststof grondstoffen, die in voedselverpakkingen kunnen worden gebruikt.

- moet stimuleren dat de output van pyrolyse en vergassing (brandstoffen en chemicaliën) wordt toegepast als grondstof en daarmee bijdraagt aan het sluiten van grondstofketens.
6. De business cases die op hoofdlijnen zijn berekend voor vier voorbeeldprocessen van chemische recycling van kunststof verpakkingen, laten uiteenlopende resultaten zien. Investeringskosten, onzekerheden en operationele kosten per ton output verschillen sterk.
  7. De kosten en brutowinst van de processen zijn sterk afhankelijk van de schaalgrootte van het proces, de kosten van de feedstock en het afzettarief van de producten. Deze variabelen bepalen het uiteindelijke beeld van kosten en winst.
  8. Twee stimulerende factoren die van positieve invloed kunnen zijn op de business cases, zijn: investeringen van bedrijven die verpakte producten op de markt brengen en leveringszekerheid van (gerecyclede) kunststoffen willen en stimuleringsmaatregelen voor recycling door de overheid.
  9. De klimaatimpact van depolymerisatie van PET en van pyrolyse van de stroom mix kunststoffen is in beide gevallen vergelijkbaar met die van mechanische recycling van de betreffende stroom kunststof verpakkingafval. Bij pyrolyse of vergassing van recycleverliezen is sprake van een klimaatvoordeel in vergelijking met de huidige verwerkingstechniek, want verbranding wordt voorkomen en de output vervangt een brandstof of chemicaliën.
  10. Per kg kunststof verpakkingafval is het klimaatvoordeel van depolymerisatie en solvolyse vergelijkbaar met mechanische recycling van mono-stromen kunststof verpakkingen.
  11. In het huidige systeem van vergoedingen en sorterspecificaties voor kunststof verpakkingen ontbreekt een prikkel voor de Raamovereenkomstpartijen<sup>21</sup>, gemeenten en sorteerdere om te streven naar kwalitatief betere methoden van recycling. Op systeemniveau is de kunststofverpakkingketen erbij gebaat om meer en beter te recyclen, zodat meer hoogwaardige toepassing mogelijk is.
  12. Huidige wet- en regelgeving biedt kansen om chemische recycling van de grond te krijgen. Er moet onderscheid gemaakt blijven worden tussen chemische recyclingprocessen die leiden tot grondstoffen en chemische recyclingprocessen waarvan de output wordt ingezet als brandstof. Daarnaast zou er onderscheid gemaakt kunnen worden naar de CO<sub>2</sub>-reductie per ton verwerkt kunststof verpakkingafval.
  13. Ook wanneer chemische recycling op industriële schaal wordt ingezet voor de verwerking van Nederlands kunststof verpakkingafval is het noodzakelijk om te blijven werken aan 'design for recycling', samenwerking in de verpakkingketen en aan effectieve inzamelsystemen.
  14. Om chemische recycling van kunststof verpakkingen te realiseren en in te richten is ketensamenwerking nodig:
    - Voor het van de grond krijgen van chemische recycling is een goede samenstelling en leveringszekerheid van feedstock belangrijk. Samenwerking tussen de achterkant (recycler) en voorkant (producent) van de verpakkingketen is hiervoor cruciaal;
    - Het voorkomen van stoorstoffen in ontwerp van verpakkingen. Hiervoor is samenwerking nodig tussen producenten en importeurs van verpakte producten en recyclers;
    - Het verwerken van sorteer- en recycleverliezen vraagt om logistieke oplossingen waarbij wordt samengewerkt tussen sorteerdere en recyclers;
    - Investerings- en stimuleringsmaatregelen door de hele keten.

---

<sup>21</sup> Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, de Vereniging Nederlandse Gemeenten en de producenten en importeurs die verpakte producten op de markt brengen.



## Deel 2: Analyse van chemische recycling van kunststof verpakkingen



## 3 De kansen van chemische recycling van kunststof verpakkingen voor Nederland

Om tot conclusies en acties voor opschaling van chemische recycling van kunststof verpakkingen te komen zijn de kansen voor Nederland geïnventariseerd en is een economische en klimaatanalyse uitgevoerd. Daarnaast zijn de barrières en ruimte voor chemische recycling van kunststof verpakkingen in beleid en regelgeving beschreven. De resultaten van deze analyses worden toegelicht in dit tweede deel van de rapportage.

Dit hoofdstuk beschrijft de kansen van chemische recycling van kunststof verpakkingen voor Nederland.

### 3.1 Een overzicht van de kansen voor Nederland

Het realiseren van chemische recycling van kunststof verpakkingen op industriële schaal krijgt op dit moment en de komende jaren verder vorm in Nederland. Op een aantal vlakken biedt de opschaling van chemische recycling kansen voor Nederland. Naast het waarmaken van circulaire ambities, kan Nederland een koploperspositie en kennispositie in chemisch recyclen van kunststof verpakkingen invullen. Tot slot biedt het verder ontwikkelen van onder andere de lopende initiatieven die genoemd zijn in hoofdstuk 1.2 ook economische kansen.

In afspraken en regelgeving over verpakkingen en in afvalbeleid worden uiteenlopende definities van (chemische) recycling gehanteerd. De definities verschillen in de manier van toepassing van het outputproduct.

1. Chemische recycling in de recyclingdoelstelling in het VANG beleid: Volumes die gerecycled zijn en terugkomen als de oorspronkelijke materialen tellen mee als recycling en dragen bij aan het behalen van de VANG-doelstellingen.
2. Chemische recycling in het LAP3: Het chemische proces wordt alleen aangemerkt als vorm van recycling wanneer het proces is gericht op het produceren van grondstoffen voor de 'maakindustrie' en niet wordt toegepast als brandstof.
3. Recycling gehanteerd in de vergoedingssystematiek voor kunststof verpakkingen: Volumes kunststof verpakkingen die worden afgezet bij een erkend recycler.
4. Besluit beheer verpakkingen: Het in een productieproces opnieuw verwerken van afvalmaterialen voor het oorspronkelijke doel of voor andere doeleinden, met inbegrip van organische recycling maar uitgezonderd terugwinning van energie.

In 'Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling' gaan we uit van de definitie zoals geformuleerd in LAP3.

#### Koploperspositie chemisch recyclen

In de Transitieagenda Kunststoffen is de ambitie opgenomen om in 2030 10% output van alle recycling door chemische recycling van kunststoffen te realiseren. Dat betekent een output van alle chemische recyclingstechnieken van 250 kton. Het realiseren van deze ambitie in Nederland biedt kansen voor

Nederland om de koploperspositie op het gebied van inzamelen en mechanisch recylen uit te bouwen naar een koploperspositie op chemische recycling.

In deze analyse hanteren we het uitgangspunt dat alleen de stromen die nu niet mechanische gerecycled worden of moeilijk mechanisch te recylen zijn, beschikbaar zijn voor chemische recycling. Willen we de inputstromen kunststof verpakkingen die geschikt zijn voor chemische recycling vergroten, bijvoorbeeld om zo de leveringszekerheid van feedstock te vergroten, zouden we inzamelsystemen moeten optimaliseren of kunststofverpakkingsafval uit buurlanden importeren. Hierbij kan gedacht worden aan de gesorteerde stroom mix kunststoffen die nu grotendeels in Duitsland wordt verwerkt<sup>22</sup>. Ook kan gedacht worden aan import uit andere landen. Naast huishoudelijke kunststof verpakkingen zijn er nog andere kansrijke stromen: kunststof verpakkingsafval uit de kantoor, winkel en dienstensector (KWD-sector), kunststof verpakkingen uit het bedrijfsafval die nu niet gerecycled worden<sup>23</sup>. Of kunststof producten, zoals EPS uit de bouwsector, kunststoffen uit de automotive, of uit afgedankte elektrische en elektronische apparaten (WEEE-stroom).

### Economische kansen

Op basis van de ambitie uit de Transitieagenda Kunststoffen biedt een capaciteit van 250 kton output van chemische recycling, uitgaande van een capaciteit van gemiddeld 50 kton input per fabriek de ruimte om in Nederland 5 fabrieken te realiseren. Dit zal naar verwachting een forse investering vergen die we inschatten op ongeveer 285 miljoen euro<sup>24</sup>. Tegelijkertijd zal deze investering zo'n 225 directe banen kunnen opleveren in de recycle installaties.<sup>25</sup> Daarnaast zal ook de kennisontwikkeling (en de banen in de kennissector) een impuls krijgen.

Belangrijke randvoorwaarden zijn de kosteneffectiviteit van chemische recycling en het milieurendement van de verschillende technieken. Binnenkort start een stimuleringsprogramma van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) om pilotprojecten voor chemische recycling te ondersteunen. Doelen van dit programma zijn het omlaag brengen van de kostprijs van chemische recycling en deze meer concurrerend maken met verbranding van afvalstromen en het realiseren van meer CO<sub>2</sub>-reductie en minder verlies aan grondstoffen (in vergelijking met verbranding). Het product van chemische recycling dient verder voor minimaal 70% weer toegepast te worden in producten<sup>26</sup>.

---

<sup>22</sup> Verhoogde hergebruiksdoelstellingen in Duitsland kunnen op termijn leiden tot een grotere stroom mix kunststoffen afkomstig uit Duits afval. Deze zal de Nederlandse stroom mix kunststoffen verdringen die nu volledig worden verwerkt in Duitsland.

<sup>23</sup> 55 tot 60% van de kunststof verpakkingen van bedrijven wordt nu gescheiden ingezameld en verwerkt. De Chinese importban heeft vooral effect op de stroom folies van bedrijven. <https://www.kidv.nl/7634/verslag-verdiep-bijeenk-kidv.pdf?ch=DEF>

<sup>24</sup> Aanname: investering € 860.000 per kton te realiseren capaciteit bij 330 kton input dat resulteert in 250 kton output (aanname: 80% efficiency).

<sup>25</sup> Aanname: 0.9 FTE per kton gerealiseerde capaciteit

<sup>26</sup> Document: Programmalijnen BBEG Innovatie 2018, programmalijn 3: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/subsidies-energie-innovatie-topsector-energie/biobased-economy-groen-gas-en-recycling>.

## 4 Aanpak economische en klimaatanalyse van voorbeeldprocessen

Dit hoofdstuk biedt een overzicht van de beschikbare inputstromen voor chemische recycling en de aanpak van de economische en klimaatanalyse. In hoofdstuk 5 staan de resultaten beschreven van de economische en klimaatanalyse van vier voorbeeldprocessen van de chemische recycling routes (solvolyse, depolymerisatie, pyrolyse en vergassing) van kunststof verpakkingen.

### 4.1 Bepalen van de kansrijke inputstromen kunststof verpakkingen

In de rapportage 'Verkenning van chemische recycling' heeft CE Delft bepaald wat de kansrijke stromen kunststof verpakkingsafval<sup>27</sup> zijn, die op dit moment niet of met beperkte toepassingsmogelijkheden gerecycled worden. Afhankelijk van de chemische recyclingroute bestaan de kansrijke stromen uit:

1. kunststof verpakkingen die voorkomen in de uitval van sorteer- en recyclingprocessen;
2. de stroom mix kunststoffen<sup>28</sup>;
3. de op dit moment moeilijk te recyclen mono-stroom PET-trays.

Per ton input voor recycling is de klimaatimpact berekend voor de verschillende routes ten opzichte van de huidige verwerkingsroute. In het geval van kunststofuitval (bij bijvoorbeeld de sortering) is de huidige verwerkingsroute verbranding met energierugwinning. De stroom mix kunststoffen wordt bijvoorbeeld verwerkt in producten ter vervanging van andere grondstoffen (onder andere hout en virgin kunststoffen). De mono-stroom PET-trays wordt gedeeltelijke verwerkt via overige gesorteerde stromen en opgeslagen, omdat op dit moment met het grootste aandeel gesorteerde PET-trays nog niets gebeurt. Een deel van de PET-trays zal gerecycled gaan worden door 4PET vanaf medio 2018<sup>29</sup>.

Bij het bepalen van de kansrijke kunststof stromen is onderscheid gemaakt tussen de beschikbare stromen vanuit het kunststof verpakkingsafval van huishoudens dat al (gescheiden) wordt ingezameld en gesorteerd, en de kunststof verpakkingen die worden afgedankt via de KWD-sector. Deze stromen worden momenteel nog niet of nauwelijks gescheiden ingezameld en bevatten nog een groot aandeel kunststof verpakkingen dat potentie heeft om chemisch te recyclen<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup> Het verkennen van chemische recycling komt voort uit de behoefte aan afvalverwerkingscapaciteit en groeiende recyclingambities in de kunststof verpakkingsmarkt, niet vanuit de vraag naar brandstoffen of chemicaliën. Om die reden zijn kunststof verpakkingsmaterialen (40% van de kunststoffen die jaarlijks op de markt worden gebracht) de primaire focus van de analyse.

<sup>28</sup> Waar in deze analyse wordt gesproken over de stroom mix kunststoffen worden kunststof verpakkingen bedoeld die niet recyclebaar zijn via een mono-stroom. Deze komen terecht in de gesorteerde stromen volgens de specificaties DKR 350 of DKR 352. Vanaf een nog nader te bepalen moment zullen deze specificaties worden vervangen door de nieuwe sorterspecificatie voor de MPO materiaalstroom.

<sup>29</sup> Dit leidt tot een recyclecapaciteit van 18 kton per jaar voor PET-trays, wanneer de capaciteit volledig operationeel is en benut wordt. We nemen aan dat deze lijn 18 kton van het jaarlijks op de markt gebrachte volume aan PET-trays zal verwerken.

<sup>30</sup> Ook voor de eventueel gescheiden ingezamelde stromen kunststof verpakkingsafval uit de KWD-sector geldt de afweging die terugkomt in het voorgestelde afwegingskader uit H1: welke stromen kunststof zijn geschikt voor mechanische recycling en welke voor chemische recycling?

## 4.2 Aanpak klimaatimpact

Met het bepalen van de kansrijke inputstromen kunststof verpakkingsafval voor chemische recycling, is per hoofdroute van chemische recycling een voorbeeldproces gedefinieerd (zie tabel 2). Iedere route kent variaties van processtappen en daarbij benodigde energie of hulpstoffen. Dit is mede afhankelijk van de temperatuur die de techniek vereist. Het klimaateffect per ton input is door CE Delft ingeschat aan de hand van de processtappen van de chemische recycleroute en de grondstoffen of brandstoffen die vervolgens vermeden worden (en de daarbij behorende productieprocessen) doordat het outputproduct wordt ingezet. De klimaatimpact (klimaatvoordeel of -verlies) van het voorbeeldproces in CO<sub>2</sub>-equivalenten per ton, is vervolgens vergeleken met de verwerkingsroute die op dit moment voor de kunststof verpakkingsstroom van toepassing is. De impact van de verschillende verwerkingstechnieken wordt bepaald door:

- Directe emissies: de klimaatimpact van broeikasgasemissies die worden uitgestoten bij het afvalverwerkingsproces zelf (chemische recycling of referentietechniek), en emissies die plaatsvinden bij het produceren en aanleveren van hulpmiddelen voor het proces.
- Vermeden energie: de klimaatimpact van conventionele energieproductie die vermeden wordt door het afvalverwerkingsproces. Een voorbeeld is de productie van elektriciteit in een AEC, waardoor het gebruik van fossiele brandstoffen wordt voorkomen.
- Vermeden materialen: de klimaatimpact van de conventionele productie van materialen die vermeden worden door het afvalverwerkingsproces. Een voorbeeld is de productie van BHET-monomeren bij magnetische depolymerisatie van PET verpakkingsafval. Hierdoor zijn minder fossiele grondstoffen nodig voor de productie van PET.

De systeemgrenzen van de berekeningen lopen van het moment dat de gesorteerde kunststofverpakkingsstromen bij de recycler aankomen tot het moment waarop de outputstromen, die per techniek in tabel 2 zijn benoemd, gereed zijn. In het geval van de solvolyse- en depolymerisatie-processen zijn dit monomeren en polymeren ontdaan van additieven die opnieuw toegepast kunnen worden. Voor het voorbeeldproces van pyrolyse zijn de berekeningen gebaseerd op een output die bestaat uit nafta, diesel en gas, waarvan een deel als grondstof en een deel als brandstof wordt toegepast. De berekeningen voor het voorbeeldproces van vergassing zijn gebaseerd op een output die bestaat uit syngas dat wordt omgezet tot methanol dat wordt toegepast als basis voor nieuwe grondstoffen. Het toepassen van de outputproducten nafta en methanol als grondstoffen vereist verdere bewerkingsstappen, zoals destillatie of kraken. Deze bewerkingsstappen vallen buiten de systeemgrenzen van de berekening van de klimaatimpact en proceskosten. De nafta en chemicaliën uit het recyclingproces vervangen namelijk fossiele grondstof die een zelfde proces ingaan als virgin grondstoffen om kunststoffen te produceren.

Groep	Techniek	Onderzochte voorbeeldprocessen		
		Voorbeeldproces	Input	Output
Chemische recycling	Solvolyse	Creasolv	EPS	PS, Broom
	Depolymerisatie	PET glycolyse	PET	rPET of BHET
	Pyrolyse	Snelle lage temperatuur pyrolyse	Mix kunststoffen	Nafta, diesel, gas
	Vergassing	Hoge temperatuur vergassing	Recycleverliezen	Methanol
Referenties (huidige verwerking)	Verbranding		Recycleverliezen	Elektriciteit, warmte
	Mechanische recycling		PET	rPET
	PET			
	Mechanische recycling mix kunststoffen		Mix kunststoffen	Kunststofgranulaat, warmte

Tabel 2: Overzicht van de onderzochte voorbeeldprocessen in de economische en klimaatanalyse, (referentie)technieken, input- en outputstromen waarmee in de analyse wordt gerekend.

### 4.3 Aanpak analyse proceskosten

Om tot de proceskosten van de vier chemische recycling processen te komen, zijn er eerst vier voorbeeldprocessen opgesteld. Daarna is van deze vier voorbeeldprocessen ingeschat welke apparatuur benodigd is voor de installatie (inclusief warmte- en massabalansen). Hieruit volgen de investeringskosten (CAPEX). Vervolgens zijn de operationele kosten (OPEX), oftewel de productiekosten, berekend door verschillende factoren (onder andere feedstockprijs, arbeid, onderhoud, overhead) mee te nemen aan de hand van veelgebruikte literatuurfactoren in de (petro)chemische industrie<sup>31</sup>. Op basis hiervan zijn de kosten voor het uitvoeren van dit proces (en eventuele voorbereidingsstappen) berekend binnen een bandbreedte.

De maximale te behalen winst per ton is het verschil tussen de maximale inkomsten (de verkoopprijs van het product per ton maal de hoeveelheid geproduceerde tonnen) minus de productiekosten van het product (per ton). Dit getal geeft aan welk bedrag er over is na de productie en verkoop van het product. Dit is de EBITDA: de Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Appreciation (oftewel de brutowinst). Dit is dus *exclusief* de kosten en opbrengsten van de financiering (bijvoorbeeld de afschrijving van de fabriek of de rente op de leningen). Voor een volledig beeld of business case berekening zullen deze factoren over tijd in acht moeten worden genomen (waarbij aannames moeten worden gemaakt over de financiële parameters). Voor de huidige studie is de EBITDA genomen omdat dit aangeeft of het proces zelf een positieve brutowinst kan maken en omdat er nog onzekerheden zitten in de proceskostenanalyse.

<sup>31</sup> In de gebruikte benadering zijn 12 factoren meegenomen die de operationele kosten beïnvloeden, dit is een conservatieve schatting en ook wel de 'theoretische' aanpak. Echter, in de praktijk bleken stakeholders in het veld 'slechts' 4 factoren mee te nemen. Dit levert een andere (positievere) inschatting op: dit is de 'praktische' aanpak. Om het verschil tussen deze twee aanpakken in het schatten van de cijfers weer te geven, zijn zowel de cijfers voor de 'theoretische' als de 'praktische' aanpak meegenomen.

De gehanteerde aannames bij het berekenen van de OPEX en CAPEX van de vier voorbeeldprocessen, zijn:

- De outputproducten (polymeer, monomeren/bouwstoffen, brandstoffen of chemicaliën) zijn van vergelijkbare kwaliteit als de virgin variant en worden tegen een zelfde tarief afgezet;
- De schaalgrootte van de fabriek is gebaseerd op verwachte hoeveelheden en kennis van vergelijkbare pilots, die reeds in Europa lopen of gepland worden;
- In de voorbeeldprocessen EPS Creasolv, PET glycolyse, snelle lage temperatuur pyrolyse is eventuele voorbereiding opgenomen om de desbetreffende feedstock op specificatie te brengen voor de chemische processen;
- De installaties zijn 8000 uur per jaar operationeel;
- De economische levensduur van de installaties is 20 jaar.

De gemodelleerde processen geven inzicht in de parameters die de kosten van het recycleproces het meest beïnvloeden. De proceskosten, de kosten voor feedstock en de opbrengsten van de output en investeringskosten geven een beeld van de economische prestatie en optimale schaalgrootte binnen bandbreedtes. De analyse van de proceskosten geeft informatie over:

- De proceskosten voor één specifiek voorbeeldproces binnen ieder van de vier techniekenclusters;
- De kosten van het proces in termen van investeringskosten: de kapitaalkosten, materiaalkosten etc.;
- De kosten van het proces in termen van operationele kosten: de proceskosten, energiekosten, kosten van de feedstock, etc.;
- De marge per ton output, berekend op basis van kosten van de feedstock en opbrengsten (positief of negatief) van de output. Deze opbrengsten zijn berekend op basis van het volume en de samenstelling van de output;
- Het rendement van de techniek op basis van de massa input versus de massa output;
- De impact van de schaalgrootte op de kapitaal- en proceskosten.

In de berekeningen zijn tot slot gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op:

- de prijzen voor de feedstock (-300% en +300%);
- de procesefficiëntie (50% - 99% rendement);
- de schaalgrootte van de installaties (10 kton/jr - 300 kton/jr);
- de olieprijs (-50% en +50% t.o.v. de huidige olieprijs).

#### 4.4 Beschikbare stromen kunststof verpakkingsafval

Een van de uitgangspunten in deze analyse is dat de stromen kunststof verpakkingsafval die op dit moment nog niet of moeilijk mechanisch worden gerecycled, kansrijk zijn om in te zetten voor chemische recycling. De kunststofverpakkingsstromen die mechanisch gerecycled worden moeten over een bepaalde mate van zuiverheid beschikken om kwaliteit van het recyclaat te garanderen. Plastic composieten, laminaten, papieren stickers of labels en organische resten vormen een probleem. Daarnaast kan de aanwezigheid van (niet-kunststof) vervuilingen en bepaalde type folies leiden tot het vastlopen van de mechanische recycle-apparatuur. Daarnaast speelt ook geur een rol. Mechanisch gerecycled kunststof van verpakkingen die zijn ingezameld via huishoudelijke

inzamelsystemen of via het bedrijfsafval, is nu niet inzetbaar voor foodgrade toepassingen<sup>32</sup>. Kunststof verpakkingen kunnen een beperkt aantal recycle-cycli doorlopen, omdat de kwaliteit na iedere recyclingronde afneemt. Om de kwaliteit op niveau te houden is bijmengen van virgin kunststof noodzakelijk.

Er zijn op dit moment verschillende toepassingsmogelijkheden voor mechanisch gerecycled PE, PP en PET. Naar deze gesorteerde en gerecyclede kunststofstromen is dan ook vraag. Echter varieert de kwaliteit van het recycalaat meer dan de kwaliteit van virgin kunststoffen. Bovendien kunnen de recycalaatprijzen niet concurreren met de prijzen van virgin kunststoffen, onder andere door de huidige lage olieprijs. Dit maakt dat virgin kunststoffen doorgaans aantrekkelijker zijn voor afnemers. Chemische recycling biedt in potentie bij een gesorteerde mono-stroom zoals PET meerwaarde door het vergroten van de zuiverheid en het ontdoen van additieven of kleur. Dit leidt tot meer toepassings- en afzetmogelijkheden, bijvoorbeeld voor foodgrade toepassingen.

#### 4.4.1 Mix kunststoffen

De inzet van chemische recycling kan op dit moment economisch vooral interessant zijn voor de stroom mix kunststoffen, gesorteerd volgens DKR 350 of DKR 352 specificatie waarin verschillende typen kunststoffen bij elkaar belanden. Deze stroom neemt een groot aandeel in (ongeveer 35% van de hoeveelheid gesorteerde kunststof verpakkingen) en is lastig mechanisch te recyclen. In 2015 bedroeg de stroom mix kunststoffen afkomstig van huishoudens 54,1 kton<sup>33</sup>. In deze analyse wordt de 54,1 kton mix kunststoffen gezien als kansrijke inputstroom voor een pyrolyse- of vergassingsproces. De output van de onderzochte voorbeeldprocessen is een mix van respectievelijk nafta, syngas en diesel (pyrolyse) of alleen syngas (vergassing). Deze outputs kunnen worden toegepast als grondstof in onder andere de chemische industrie en als bouwsteen dienen voor onder andere kunststof. Of worden toegepast als brandstof, dan is er geen sprake van recycling. Chemische recycling van de stroom mix kunststoffen biedt meerwaarde boven mechanische recycling omdat de huidige mechanische recycling van dit materiaal gezien kan worden als relatief laagwaardige recycling. Het geproduceerde materiaal wordt voornamelijk gebruikt in dikwandige toepassingen zoals bankjes, tafels en tegels.

Bij het in kaart brengen van de klimaatimpact en de proceskosten is aangenomen dat de samenstelling van de stroom mix kunststoffen gelijk is aan de sorteerspecificaties op basis waarvan de vergoeding voor inzamelen en sorteren wordt toegekend.

#### 4.4.2 Kunststof verpakkingen uit sorteer- en recycleverliezen

Tijdens het sorteren en recyclen van bron- en nagescheiden kunststof verpakkingen valt een deel van de verpakkingen uit en belandt in de sorteerrest en recycleverliezen. De uitval wordt onder andere veroorzaakt door de samenstelling van het ingezamelde kunststof na inzameling en de snelheid en nauwkeurigheid van sorteren. Uit massabalansen uit 2015 blijkt dat de uitval bij sorteren en recyclen

---

<sup>32</sup> Een van de richtlijnen van de EFSA – tenminste 95% van het materiaal in het recyclingproces moet te herleiden zijn naar materiaal afkomstig uit de voedingsmiddelenindustrie – beperkt grootschalige toepassing van gerecyclede kunststoffen in kunststof voedselverpakkingen. Dit is niet traceerbaar voor verpakkingen die via brede inzamelsystemen of nascheiding zijn ingezameld. Met uitzondering van de PET-flessen uit de statiegeldstroom.

<sup>33</sup> Verkenning chemische recycling, CE Delft, september 2018



uit (bijna) puur kunststof bestaan<sup>34</sup>. Deze kunststof verpakkingen en niet-verpakkingen belanden niet in de stromen mechanisch te recyclen kunststoffen, maar kunnen mogelijk wel chemisch gerecycled worden. De totale uitval in de recyclingketens is ca. 52 kton per jaar. De geschatte samenstelling van de uitval van kunststof verpakkingen tijdens het sorteren en recyclen wordt toegelicht in de klimaatanalyse van CE Delft.

De verliezen uit de recyclestappen worden op dit moment verbrand in een AEC. Door deze stroom te verwerken via chemische recycling zouden kunststoffen geproduceerd kunnen worden van hogere (virgin) kwaliteit. De kunststof verpakkingen in de recycleverliezen zijn in te zetten voor pyrolyse of vergassing. De output van deze processen is een mix van respectievelijk nafta, syngas en diesel of alleen syngas. Deze producten kunnen worden toegepast als grondstof voor de chemische industrie of als brandstof.

#### 4.4.3 Moeilijk te recyclen mono-stromen

Een mono-stroom die op dit moment grotendeels nog niet gerecycled wordt, is de stroom PET-trays. Dit is een verzamelnaam voor PET-verpakkingen niet zijnde flessen en flacons, zoals: schalen, bekers en clamshells. Het gebruik van PET-trays is de laatste jaren sterk toegenomen. De trays zijn de laatste jaren gedeeltelijk als mono-stroom gesorteerd en vormen een klein aandeel in andere gesorteerde kunststof verpakkingstromen<sup>35</sup>. De PET-trays kunnen, in beperkte mate, worden gerecycled met PET-flessen. Hierbij geldt een bovengrens voor de hoeveelheid PET-trays in de mono-stroom PET (DKR 328-1). Daarnaast kan de gesorteerde PET-tray-stroom worden gerecycled in stroom mix kunststoffen, maar hiervoor geldt ook een bovengrens van 10% volgens sorteerspecificatie voor de mix kunststoffen (volgens DKR 350 en DKR 352 sorteerspecificaties).

Sinds 2016 bestaat er een sorteerspecificatie voor PET-trays, opgesteld door het KIDV. Bij het in kaart brengen van de klimaatimpact en de proceskosten is aangenomen dat de samenstelling van de mono-stroom PET-trays gelijk is aan de sorteerspecificaties voor PET-trays.

Naar schatting bestaat het volume PET-trays verpakkingen op de Nederlandse markt uit 30 kton per jaar. Daarnaast is een voorraad gesorteerde PET-trays opgeslagen om gerecycled te worden. In de tweede helft van 2018 wordt de recyclelijn van 4PET voor PET-trays in gebruik genomen. Dit leidt tot een recyclecapaciteit van 18 kton per jaar voor PET-trays, wanneer de capaciteit volledig operationeel is en benut wordt. We nemen aan dat 4PET 18 kton van het jaarlijks op de markt gebrachte volume aan PET-trays zal verwerken.

De gesorteerde stroom PET-trays wordt op dit moment opgeslagen totdat deze gerecycled kan worden. Door middel van depolymerisatie is de mono-stroom PET-trays te recyclen tot monomeren gelijk aan virgin kwaliteit en kunnen opnieuw worden toegepast in kunststoffen voor (foodgrade) verpakkingen of toepassingen.

---

<sup>34</sup> Milieuanalyse recycling van kunststof verpakkingen, CE Delft, 2015

<sup>35</sup> PET-trays: op weg naar structurele oplossingen, KIDV 2016.

## 5 Resultaten economische en klimaatanalyse per techniek

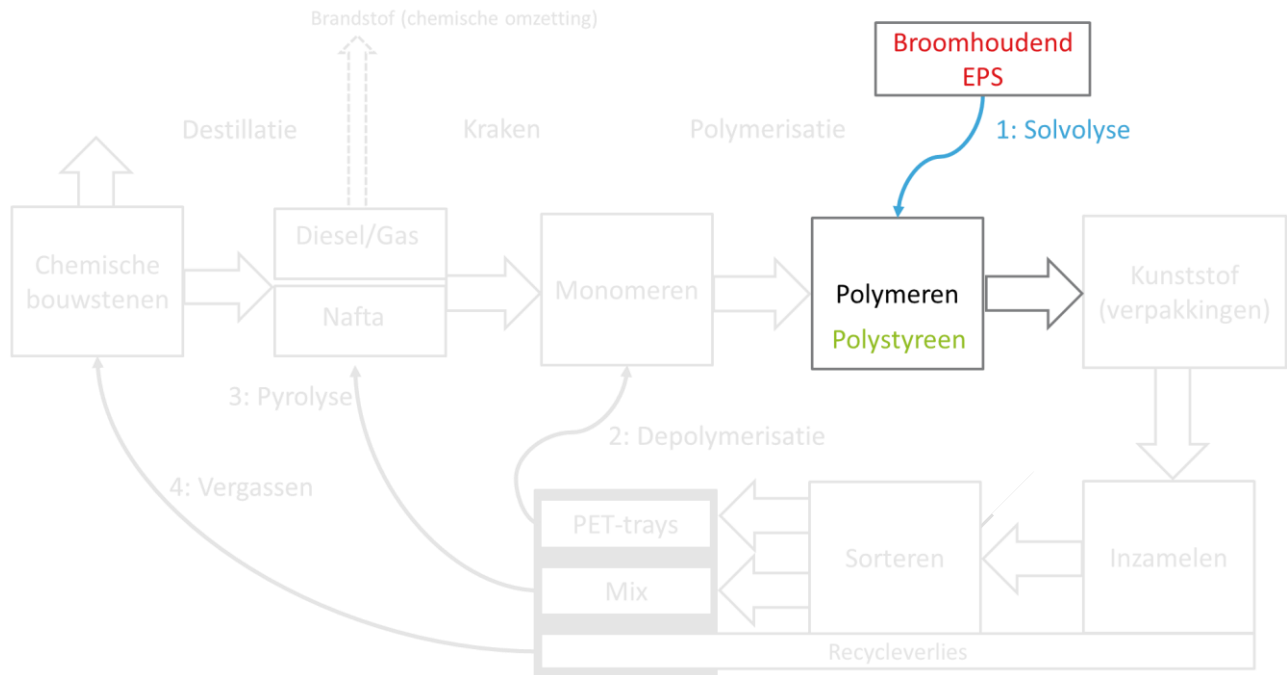
In dit hoofdstuk wordt per hoofdroute van chemische recycling van kunststof verpakkingen beschreven wat mogelijke inputstromen en outputstromen zijn. De resultaten van de economische en klimaatanalyse van vier voorbeeldprocessen van chemische recycling routes van kunststof verpakkingen (solvolyse, depolymerisatie, pyrolyse en vergassing) zijn vervolgens per route beschreven. De economische analyse toont de proceskosten binnen een bandbreedte aan de hand van gemodelleerde voorbeeldprocessen en laat de invloed zien van factoren zoals het tarief van de inputstroom, de schaalgrootte en een schommelende olieprijs.

### 5.1 Solvolyse

Solvolyse (of oplossen) is een natuurkundig proces om door middel van een oplosmiddel (solvent) polymeren op te lossen en te scheiden van andere materialen. In de economische en klimaatanalyse is voor de techniek 'solvolyse' een Creasolv proces gemodelleerd om als voorbeeldproces door te rekenen. We gaan daarbij uit van EPS (met broomhoudende brandvertragers) uit de bouw als inputstroom.

Er bestaat op dit moment geen voor de hand liggende stroom verpakkingsmateriaal die verwerkt kan worden via solvolyse. De techniek kan op de lange termijn meerwaarde leveren voor de recycling van kunststof verpakkingen. Bijvoorbeeld wanneer het economisch loont om lagen in multilayer PE en PP verpakkingen via oplossing te scheiden van andere materialen, omdat er voldoende vraag is naar meer hoogwaardige recycling van multilayer verpakkingen. Deze verpakkingen volgen nu nog de route van mechanische recycling (echter leidt dit tot minder toepassingsmogelijkheden doordat deze verpakkingen in de stroom mix kunststoffen belanden of uitvallen tijdens het sorteren of recyclen en vervolgens worden verbrand). Solvolyse krijgt daarom in deze analyse een aparte plek: voor kunststof verpakkingen is deze techniek (nog) niet voor de hand liggend, maar de schaal waarop solvolyse van EPS uit de bouw (zijnde niet-verpakkingsmaterialen) kan worden uitgevoerd, draagt wel bij aan de ambitie van 250 kton output uit de Transitieagenda Kunststoffen.

Solvolyse wordt ingezet om kunststoffen van additieven of van andere materialen te scheiden. Bijvoorbeeld bij producten afkomstig uit andere sectoren zoals de elektronica, de automotive of bij composiet materialen. Op pilotschaal wordt solvolyse toegepast op geëxpandeerd polystyreen (EPS), dat veel wordt gebruikt als isolatiemateriaal in de bouw en is bewerkt met brandvertrager. Het EPS wordt door middel van een oplossing gescheiden van broomhoudende brandvertragers, waarna de polymeren uit het oplosmiddel worden gehaald en vervolgens worden verwerkt tot schoon polystyreen (PS). De eisen aan de feedstock voor solvolyse met betrekking tot homogeniteit en zuiverheid zijn redelijk hoog. Dit betekent dat een schone kunststofstroom nodig is met minder dan 10% vervuiling.



Figuur 2: Schematische weergave van het onderzochte voorbeeldproces van solvolyse (met broomhoudend EPS als input, en polystyreen als output) in de kunststofverpakkingsketen.

### 5.1.1 Input- en outputstromen

EPS dat geschikt is voor het voorbeeldproces van solvolyse komt beperkt voor in kunststof verpakkingsafval. Op dit moment bestaat het huishoudelijk kunststof verpakkingsafval voor 3% uit EPS en wordt ingezameld bij milieustraten of met het restafval. In totaal wordt jaarlijks 13 kton EPS verpakkingsmateriaal op de markt gebracht en afgedankt via huishoudens en bedrijven<sup>36</sup>. Deze stroom is goed mechanisch te recyclen. Daarom ligt het nu nog niet voor de hand om het EPS uit verpakkingen chemisch te recyclen.

EPS wordt in grotere hoeveelheden gebruikt in de bouw, maar kent een langere gebruikscyclus dan verpakkingen. Jaarlijks komt 6,5 kton EPS vrij in de bouwsector<sup>37</sup> die gescheiden moet worden van broomhoudende vlamvertrager. Solvolyse is hiervoor een kansrijke techniek. Op dit moment wordt het materiaal verbrand met energieretourwinning.

In deze analyse rekenen we alleen met het volume EPS dat beschikbaar komt uit de bouw, omdat EPS uit verpakkingsmateriaal op dit moment mechanisch gerecycled kan worden. EPS wordt echter zeer beperkt ingezameld in Nederland en gesorteerd voor recycling. De producten die overblijven na oplossing van de materialen zijn afhankelijk van de inputstromen. In het geval van de EPS die in de bouwsector vrijkomt, zijn dit polystyreen (PS) en broom. Naast het oplosmiddel zelf, de solvent, dat meerdere keren gebruikt kan worden.

<sup>36</sup> Op basis van verschillende data uit Onderzoek kunststof afdankstromen in Nederland, RVO, 2011/ Presentatie Post-consumer plastic waste management in European countries, NRK, 2013/ Plastics met gevaarlijke stoffen: recyclen of verbranden? RIVM, 2015.

<sup>37</sup> Plastics met gevaarlijke stoffen: recyclen of verbranden? RIVM, 2015.

### 5.1.2 Klimaatimpact

In deze analyse wordt alleen de stroom EPS met broomhoudende brandvertragers afkomstig uit de bouw als beschikbare stroom voor solvolyse beschouwd. In de berekening van de klimaatimpact is verbranding met energierugwinning als referentie gebruikt<sup>38</sup>. Ten opzichte van verbranding leidt solvolyse tot een klimaatvoordeel van 3,2 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ton. Dit is vergelijkbaar met het klimaatvoordeel van mechanische recycling van EPS ten opzichte van verbranding. De klimaatwinst wordt vooral veroorzaakt door de vermeden productie van PS. De berekening is echter onzeker en daarom conservatief ingeschat, omdat er aannames zijn gedaan over het verlies aan solvent en het energiegebruik.

Solvolyse heeft als voordeel dat de kwaliteit van het recyclelaat hoog is doordat additieven en kleurstoffen worden verwijderd. Daarnaast is solvolyse een relatief laag-energetisch proces met een hoog grondstoffenrendement en beperkt verlies van de solvent.

Klimaatimpact	
Tov verbranden in AEC	-3,2 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input

### 5.1.3 Proceskosten voorbeeldproces solvolyse (EPS Creasolv)

Bij de berekening van de proceskosten en EBITDA<sup>39</sup> van een voorbeeldproces van solvolyse (van broomhoudend EPS) is het CreaSolv proces benaderd. In de berekening is een feedstockprijs van € 50 per ton EPS gehanteerd en een afzetprijs van € 1.720 per ton PS.

Bij een capaciteit van 20 kton input per jaar bedragen de investeringskosten 26,1 miljoen euro en de jaarlijkse operationele kosten 12,1 miljoen euro<sup>40</sup>. Wat opvalt in de modelberekening van de proceskosten is:

- De productiekosten bedragen € 672 /ton feedstock (in de basisberekening, zie grafiek 1);
- De operationele kosten beslaan het grootste gedeelte van de productiekosten. De grootste bijdrage aan de OPEX zijn de energiekosten (door destillatie en droging in het proces), gevolgd door de arbeidskosten en feedstock kosten;
- De productiekosten zijn hoog, echter er is een EBITDA mogelijk (basisberekening) van € 962 /ton feedstock. Deze EBITDA is mogelijk vanwege de hoge waarde van het outputproduct PS, dat direct ingezet kan worden in de kunststofverwerkende industrie;
- De processchaal en olieprijs bepalen in grote mate de waarde van de EBITDA. De olieprijs beïnvloedt de EBITDA door de hoge waarde van het outputproduct, die de waarde van de

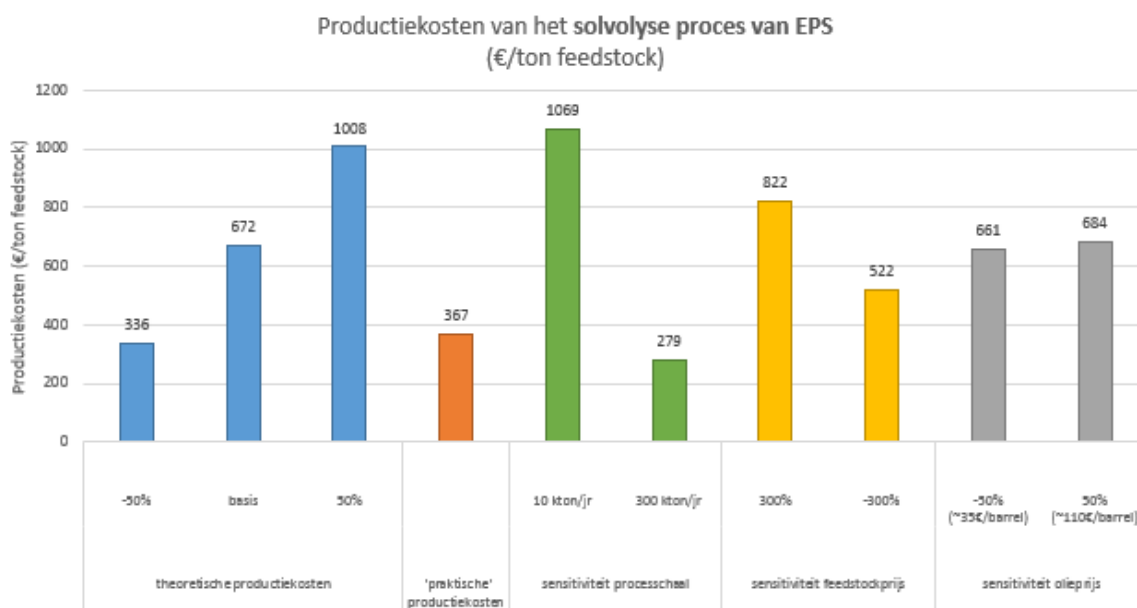
<sup>38</sup> De stroom EPS in verpakkingen (jaarlijks 13 kton op de markt) wordt op dit moment mechanisch gerecycled en is minder voor de hand liggend voor verwerking via solvolyse. Hierdoor wordt in de analyse van klimaateffecten niet vergeleken met mechanische recycling, maar met verbranding met energierugwinning.

<sup>39</sup> De maximale te behalen winst per ton is het verschil tussen de maximale inkomsten (de verkoopprijs van het product per ton maal de hoeveelheid geproduceerde tonnen) minus de productiekosten van het product (per ton). Dit getal geeft aan welk bedrag er over is na de productie en verkoop van het product. Dit is de EBITDA: de Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Appreciation (oftewel de brutowinst). Dit is dus *exclusief* de kosten en opbrengsten van de financiering (bijvoorbeeld de afschrijving van de installatie of de rente op de leningen).

<sup>40</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.

kunststofkorrel benadert en voor een hogere waarde verkocht kan worden wanneer de olieprijs stijgt.

EPS Creasolv (schaalgrootte 20 kton/jr)	
CAPEX (M€)	26,1
Proceskosten (OPEX M€/jr)	12,1
Feedstock prijs (€/ton feedstock)	50
Procefficiëntie (massa %)	95%
Outputprijs (€/ton product)	1.720 (PS)
Productiekosten (€/ton feedstock)	672
EBITDA (€/ton feedstock)	962

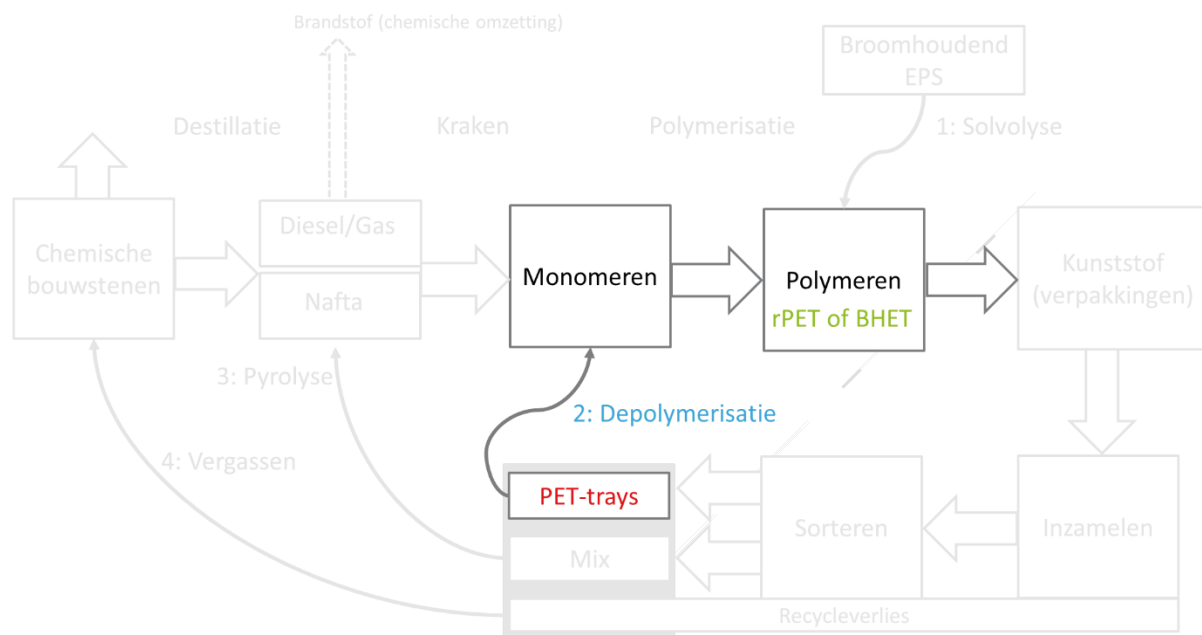


Grafiek 1: Productiekosten van het voorbeeldproces EPS Creasolv

## 5.2 Depolymerisatie

Bij depolymerisatie worden de kunststof verpakkingen, net als bij solvolyse, opgelost door middel van oplosmiddelen en warmte. Er vindt verhitting plaats bij relatief lage temperatuur, waardoor de chemische verbinding binnen de kunststofketens wordt verbroken en er kortere ketens en monomeren ontstaan. De monomeren kunnen vervolgens weer gepolymeriseerd worden tot kunststof. Depolymerisatie kan alleen worden toegepast op een specifieke groep kunststoffen, zogenoemde polycondensaten. In de economische en klimaatanalyse is voor de techniek 'depolymerisatie' PET glycolyse als voorbeeldproces gemodelleerd om door te rekenen.

Een voordeel van depolymerisatie is dat onzuiverheden uit het kunststof worden gehaald, die in het oplosmiddel achterblijven. Bijvoorbeeld kleurstoffen, maar ook onoplosbare kunststoffen die voorkomen in multilayer verpakkingen. De output van depolymerisatie is potentieel veilig voor voedselcontact. De eisen aan de inputstroom met betrekking tot homogeniteit en zuiverheid zijn redelijk hoog. In deze analyse gaan we er vanuit dat depolymerisatie een geschikte techniek is om toe te passen op de beschikbare stroom PET-trays. Dit levert rPET en BHET op als output.



Figuur 3: Schematische weergave van het onderzochte voorbeeldproces van depolymerisatie (met PET-trays als input, en rPET en BHET als output) in de kunststofverpakkingketen.

### 5.2.1 Input- en outputstromen

PET-flessen en PET-trays (inclusief vervuiling) kunnen als inputstromen voor depolymerisatie dienen. Ook andere producten kunnen verwerkt worden door middel van depolymerisatie, zoals textiel of producten waarin PET is verwerkt. In deze analyse wordt gerekend met de stroom PET-trays dat jaarlijks op de markt wordt gebracht, omdat deze stroom op dit moment niet mechanisch wordt gerecycled. Hiervan wordt een deel ingezameld via huishoudens, een deel via het bedrijfsafval (waaronder het afval uit de KWD-sector) en een deel verdwijnt in het restafval of valt uit tijdens het sorteren en recyclen. Van de op de markt gebrachte PET-trays zal per medio 2018 een aandeel verwerkt gaan worden door 4PET.

Aanvullend hierop is het mogelijk om de gesorteerde stroom PET (DKR 328-1) te verwerken via depolymerisatie. Jaarlijks wordt 11 kton PET afkomstig van huishoudens gesorteerd volgens de DKR 328-1 specificatie<sup>41</sup>. De verwerking van deze stroom via depolymerisatie ligt op dit moment minder voor de hand, omdat voor mechanische recycling van de stroom DKR 328-1 nu een goede afzetmarkt is. Echter, de toenemende vraag naar rPET dat geschikt is voor foodgrade toepassing of is

<sup>41</sup> Totstandkoming van de beschikbare hoeveelheden kunststof verpakkingsafval in 2020 en 2030 en de onderliggende aannames staan beschreven in: Verkenning chemische recycling, CE Delft, september 2018.

opgeschoond van kleur of andere additieven, vergroot de kans dat het DKR 328-1 PET (deels) verwerkt gaat worden via depolymerisatie.

### 5.2.2 Klimaatimpact

Omdat op dit moment PET-trays nog niet als mono-stroom gerecycled worden, zijn er geen gegevens beschikbaar zijn over bijbehorende klimaatvoordeel ten opzichte van verbranding. Daarom wordt in de klimaatanalyse depolymerisatie van PET-trays vergeleken met het opslaan van de trays, met mechanische recycling van PET-flessen en met verbranden in een AEC. De vergelijking met mechanische recycling is echt niet waterdicht, omdat op dit moment mechanische recycling niet goed kan omgaan met grote hoeveelheden vervuilingen en additieven, die depolymerisatie beter aan kan.

Depolymerisatie van PET-trays leidt tot een klimaatimpact van -1,5 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ ton ten opzichte van niets doen, oftewel het opslaan van de trays, wat op dit moment gebeurt met een groot aandeel van de PET-trays. In vergelijking met mechanische recycling van PET, levert depolymerisatie van PET-trays 0,8 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ ton minder klimaatwinst op (afgezet tegen verbranding van PET).

Depolymerisatie heeft in vergelijking met mechanische recycling echter het voordeel dat het rPET in foodgrade toepassingen ingezet kan worden en van kleur en additieven ontdaan wordt. Wanneer PET-trays mechanisch gerecycled worden, moeten extra stappen gezet worden om het rPET op te werken tot foodgrade-niveau. Een eerste inschatting is dat wat betreft klimaatimpact depolymerisatie van PET-trays onder de streep vergelijkbaar is met mechanische recycling van PET dat vervolgens geschikt is gemaakt voor foodgrade toepassing. Depolymerisatie heeft als voordeel ten opzichte van mechanische recycling dat het materiaal meer recyclingcycli door kan, doordat er geen kwaliteitsverlies, maar juist kwaliteitswinst, is na recycling.

Voor zowel mechanische als chemische recycling geldt dat het voorkomen van de productie van virgin PET leidt tot klimaatwinst ten opzichte van verbranden. Zodra de recyclelijn van 4PET operationeel is, kan de verwerking van PET-trays als referentie gebruikt worden.

Klimaatimpact	
<b>Tov verbranden in een AEC</b>	- 3,1 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input
<b>Niets doen, oftewel het opslaan van de trays</b>	- 1,5 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input
<b>Tov mechanisch recycelen PET als er geen extra bewerking nodig is</b>	+ 0,8 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input

### 5.2.3 Proceskosten voorbeeldproces depolymerisatie (PET glycolyse)

Bij de berekening van de proceskosten en EBITDA van een voorbeeldproces van depolymerisatie van kunststof verpakkingen is het proces van de glycolyse<sup>42</sup> van PET benaderd. Hierbij is een feedstockprijs van € 100 per ton PET gehanteerd en een afzetprijs van € 960 per ton rPET.

Bij een capaciteit van 20 kton input per jaar bedragen de investeringskosten 18,7 miljoen euro en de jaarlijkse operationele kosten 11,2 miljoen euro<sup>43</sup>. Wat opvalt in de modelberekening van de proceskosten is:

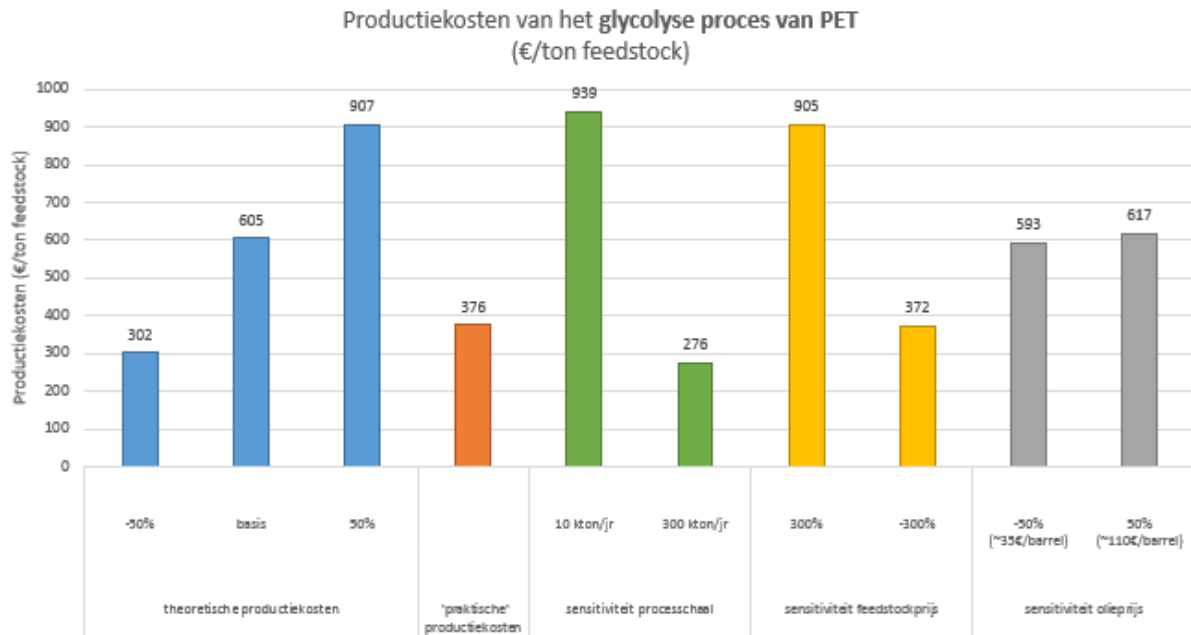
- De productiekosten bedragen € 605 /ton feedstock (de basisberekening, zie grafiek 2);
- De operationele kosten beslaan het grootste gedeelte van de productiekosten. De grootste bijdrage aan de OPEX zijn de energiekosten (door destillatie en droging in het proces), gevolgd door de arbeidskosten en feedstock kosten;
- Er is een EBITDA mogelijk (in het basisberekening) van € 307 /ton feedstock. Deze EBITDA is mogelijk vanwege de hoge waarde van het outputproduct, dat direct ingezet kan worden in de kunststofverwerkende industrie;
- De processchaal, olieprijs en feedstockprijs zijn alle drie van grote invloed op de EBITDA: bij een kleine processchaal, hoge feedstockprijs en hoge olieprijs kan de winst overgaan in een verliessituatie, onder een gunstige combinatie van deze parameters kan er een positieve EBITDA verwacht worden.

PET glycolyse (schaalgrootte 20 kton/jr)	
CAPEX (M€)	18,7
Proceskosten (OPEX M€/jr)	11,2
Feedstock prijs (€/ton feedstock)	100
Procesefficiëntie (massa %)	95%
Outputprijs (€/ton product)	960 (rPET)
Productiekosten (€/ton feedstock)	605
EBITDA (€/ton feedstock)	307

<sup>42</sup> Glycolyse is een depolymerisatie-proces waarbij met behulp van de toevoeging van glycolyse PET wordt gedepolymeriseerd naar BHET, bis(2-hydroxyethyl)tereftalaat.

<sup>43</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.





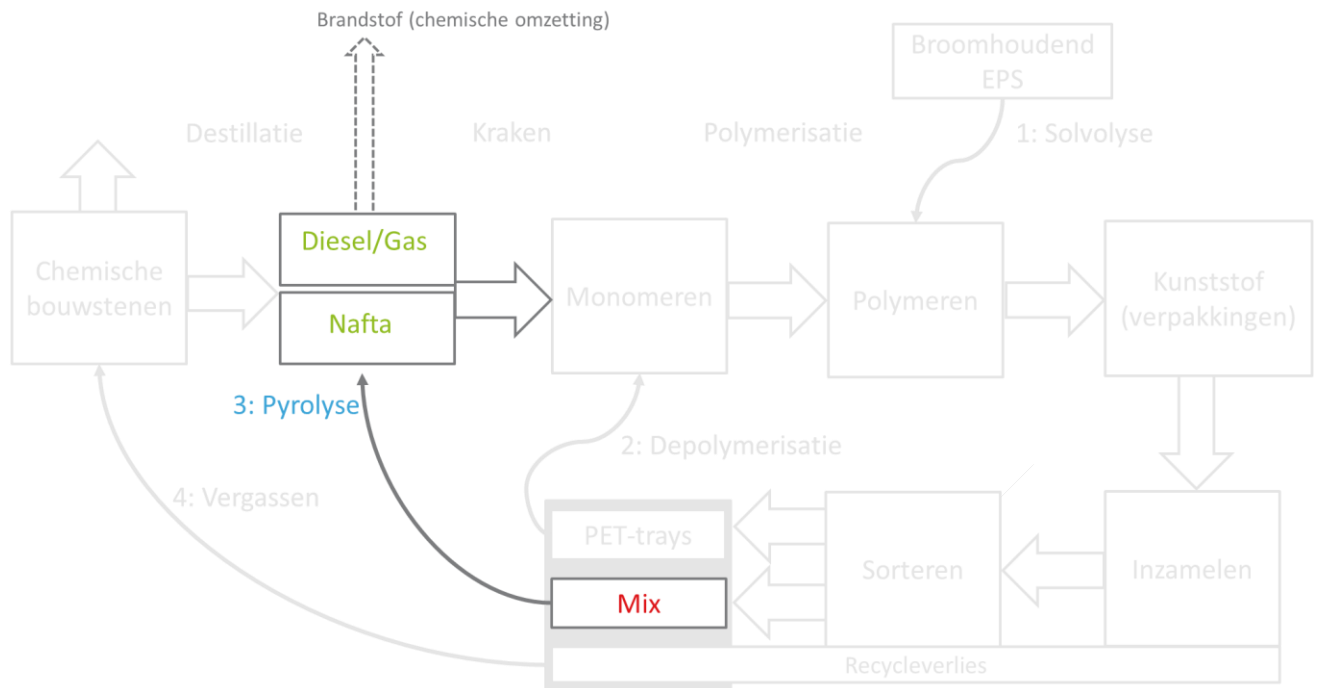
Grafiek 2: Productiekosten van het voorbeeldproces PET glycolyse

### 5.3 Pyrolyse

In de economische en klimaatanalyse wordt voor de techniek 'pyrolyse' een proces van snelle lage temperatuur pyrolyse van kunststof verpakkingen als voorbeeldproces gebruikt. In de praktijk zullen de te bereiken economische en klimaatimpact per pyrolyseproces verschillend zijn. De bevindingen zijn richtinggevend voor de proceskosten en de potentiële klimaatimpact van pyrolyse als techniek (en verzamelnaam voor meerdere processen) van gemengde kunststoffen. Voor pyrolyse van bijvoorbeeld hout, biomassa, autobanden kunnen de uitkomsten nog wel eens sterk afwijken. Bij het proces van snelle lage temperatuur pyrolyse leidt verhitting van de feedstock tot 400 - 600 graden celsius tot een brandstof. Door de verhitting worden de polymeerketens in het kunststof verbroken en ontstaan er producten met een kortere ketenlengte. Het gebrek aan zuurstof zorgt dat er geen verbranding plaatsvindt.

Pyrolyse is geschikt voor polyolefinen die in verpakkingen worden gebruikt, zoals PE, PP en PS. De eisen aan de feedstock voor pyrolyse met betrekking tot homogeniteit en zuiverheid zijn in vergelijking met de feedstock vereisten voor solvolyse en depolymerisatie beperkt.

Het product dat ontstaat na het voorbeeldproces van pyrolyse bestaat uit nafta, gas en diesel. Dit kan worden toegepast als brandstof of als grondstof in de chemische industrie. Zo is nafta een waardevol chemisch product dat direct weer naar nieuw kunststoffen kan worden omgezet. In deze analyse definiëren we een proces als chemische recycling wanneer de output van het proces opnieuw ingezet wordt als grondstof (zie kader in hoofdstuk 3.1).



Figuur 4: Schematische weergave van het onderzochte voorbeeldproces van pyrolyse (met de stroom mix kunststoffen als input, en een mix van nafta, diesel en gas als output) in de kunststofverpakkingketen

### 5.3.1 Input- en outputstromen

In deze analyse wordt de beschikbare stroom mix kunststoffen beschouwd als geschikte en beschikbare input voor pyrolyse. Ook het aandeel kunststof uit recycleverliezen kan verwerkt worden via pyrolyse. In de huidige samenstelling van de uitval van sorteren en recyclen is het aandeel PET en PVC echter te hoog, waardoor een voorbewerkingstap moet plaatsvinden. In totaal is er jaarlijks 114 kton stroom mix kunststoffen en de kunststof verpakkingen uit de recycleverliezen beschikbaar afkomstig van huishoudens. Deze kunststof verpakkingen kunnen verwerkt worden in een pyrolyseproces<sup>44</sup>. Of er sprake is van chemische recycling volgens de definitie uit LAP3 (zie kader in hoofdstuk 3.1), is afhankelijk van de verhouding van de geproduceerde nafta, gas en diesel en of hoe deze outputproducten vervolgens worden toegepast: als grondstof of brandstof.

### 5.3.2 Klimaatimpact

De verwerking van de sorteer- en recycleverliezen middels pyrolyse is vergeleken met verbranding inclusief energierugwinning, omdat dit de huidige verwerkingsroute is. Pyrolyse levert een klimaatvoordeel op van -1,7 tot -1,9 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ ton ten opzichte van verbranding. Dit komt doordat de directe uitstoot van emissies lager is. Door de productie van brandstof worden andere productieketens (aardgas, diesel) vermeden, er is echter geen sprake van recycling volgens de gehanteerde definitie van recycling. Ten opzichte van mechanische recycling van de stroom mix kunststoffen is pyrolyse vergelijkbaar, of leidt het tot een verminderd klimaatvoordeel van 0,2 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ton input. Aandachtspunt is dat mechanische recycling van de stroom mix

<sup>44</sup> Wanneer ook het afval uit de KWD-sector op een zelfde manier gescheiden, gesorteerd en gerecycled zou worden, kan dit jaarlijks leiden tot 84 kton input voor pyrolyse.

kunststoffen heeft een lagere CO<sub>2</sub>-reductie per ton: ongeveer de helft van de klimaatwinst van het recyclen van kunststof mono-stromen. Wel draagt de mechanische recycling van mix kunststoffen bij aan het beperken van het gebruik van tropisch hardhout. Kortom, om vergelijkbaar te kunnen presteren als mechanische recycling van mix kunststoffen ligt de norm lager dan bij kunststof mono-stromen.

Klimaatimpact	Pyrolyse recycleverlies	Pyrolyse mix kunststoffen
Tov mechanisch recyclen tot kunststofrecycklaat voor dikwandige toepassingen		0 tot +0,2 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input
Tov verbranden in AEC	-1,7 tot -1,9 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input	

### 5.3.3 Proceskosten voorbeeldproces pyrolyse (snelle, lage temperatuur pyrolyse)

Bij de berekening van de proceskosten en EBITDA van een voorbeeldproces van pyrolyse van kunststof verpakkingen is het proces van snelle, lage temperatuur pyrolyse benaderd. In de berekening is een negatief tarief voor de feedstock gehanteerd van - € 50 per ton mix kunststoffen (dat wil zeggen, de recycler ontvangt geld voor het afnemen van de mix kunststoffen) en een gemiddelde afzetprijs, opgebouwd uit € 400 per ton diesel, € 500 per ton nafta en € 800 per ton gas.

Bij een capaciteit van 30 kton input per jaar bedragen de investeringskosten 25,4 miljoen euro en de jaarlijkse operationele kosten 8,0 miljoen euro. Per jaar is aangenomen dat er 21.000 kton diesel, 5.000 kton nafta en 2.000 kton gas wordt geproduceerd<sup>45</sup>. Wat opvalt in de modelberekening van de proceskosten is:

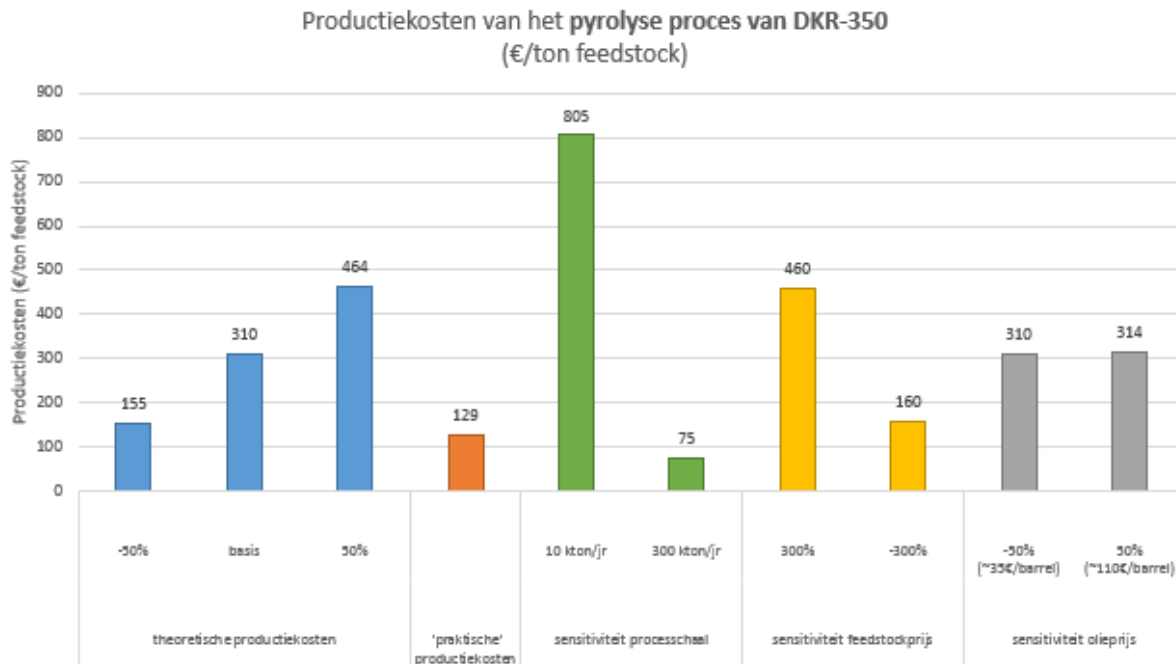
- Deze berekening van de proceskosten is gebaseerd op de aanname dat er een feedstockstroom wordt gebruikt die nagenoeg compleet uit kunststoffen bestaat (DKR 350 of DKR 352). In de praktijk worden ook andere kunststofafvalstromen ingezet, aangezien dit proces deze stromen ook kan verwerken. Welke stromen worden gebruikt en gemixt, is onder andere afhankelijk van de samenstelling, verontreiniging, tarieven van de inputstromen en de gewenste producten. De andere stromen die worden verwerkt zijn relevant voor de business case en het opschalingspotentieel. Een voordeel van het gebruik van stromen die voornamelijk bestaan uit schone kunststoffen, is dat er minder investeringen nodig zijn voor voorbereiding en reiniging van de producten. Dit levert een lagere CAPEX en OPEX op;
- De productiekosten bedragen € 310 /ton feedstock (de basisberekening, zie grafiek 3);
- De operationele kosten beslaan het grootste gedeelte van de productiekosten. De grootste bijdrage aan de OPEX zijn de arbeids- en overheadkosten. Bij dit proces speelt het energieverbruik een minder grote rol, aangezien er energie wordt opgewekt door verbranding van het ontstane off-gas<sup>46</sup> wat gebruikt kan worden voor het proces. Hierdoor is het proces ook minder gevoelig voor lange termijn schommelingen in de energieprijis;

<sup>45</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.

<sup>46</sup> Tijdens het voorbeeldproces van pyrolyse ontstaat onder andere off-gas (10%). Hiervan wordt een deel ingezet voor verwarming tijdens het proces en het overige deel van het off-gas wordt gebruikt om LPG te produceren.

- De investeringskosten worden voornamelijk beïnvloed door de kosten voor de reactor en de scrubber;
- Er is een EBITDA mogelijk (basisberekening) van € 100 /ton feedstock;
- De processchaal, olieprijs en feedstockprijs zijn alle drie van grote invloed op de EBITDA; bij een kleine processchaal, hoge feedstockprijs en hoge olieprijs kan de winst overgaan in een verliessituatie. Bij een gunstige combinatie van deze parameters kan er een positieve EBITDA verwacht worden;
- De schaalgrootte is van bijzonder belang; bij een grote schaal worden de productiekosten gedomineerd door de OPEX in plaats van de CAPEX, hetgeen resulteert in een gunstig schaaffect. Pyrolysefabrieken presteren gunstiger op grotere schaal; de productiekosten worden significant lager en de mogelijke EBITDA significant hoger;
- Een andere feedstockstroom die beschouwd is, is de stroom sorteeresidu. Door een andere samenstelling, en daardoor andere energetische waarde van deze stroom, zijn de productiekosten iets hoger (€ 340 /ton feedstock) en de EBITDA is ook iets hoger (€ 108 /ton feedstock).

Snelle, lage temp pyrolyse van mix kunststoffen (schaalgrootte 30 kton/jr)	
<b>CAPEX (M€)</b>	25,4
<b>Proceskosten (OPEX M€/jr)</b>	8,0
<b>Feedstock prijs (€/ton feedstock)</b>	-50
<b>Procesefficiëntie (massa %)</b>	90%
<b>Gemiddelde outputprijs (€/ton product)</b>	600 (nafta) 500 (diesel) 800 (gas)
<b>Productiekosten (€/ton feedstock)</b>	310
<b>EBITDA (€/ton feedstock)</b>	100



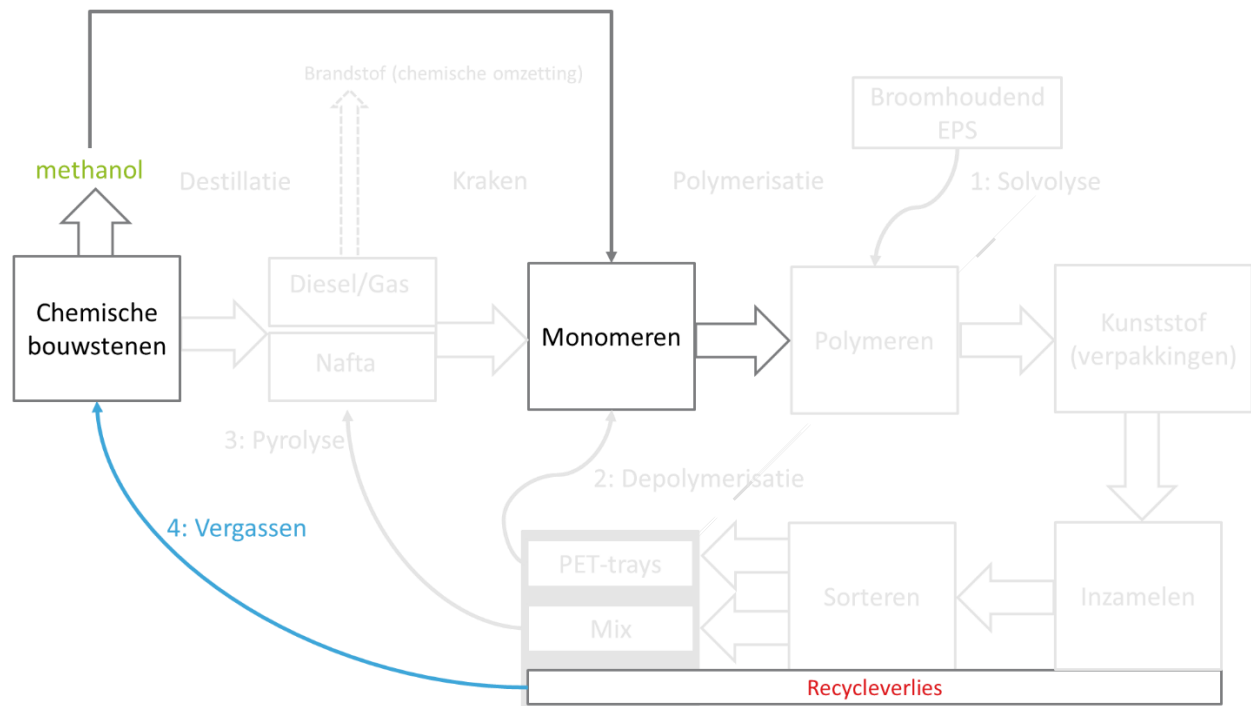
Grafiek 3: Productiekosten van het voorbeeldproces snelle, lage temperatuur pyrolyse

## 5.4 Vergassing

Vergassing is net als pyrolyse een techniek die verschillende uitvoeringsvormen kent. In de economische en klimaatanalyse is een proces van hoge temperatuur vergassing van kunststof verpakkingen beschreven. In de praktijk zullen de te bereiken economische en klimaatimpact per vergassingsproces verschillend zijn. De bevindingen zijn richtinggevend voor de proceskosten en de potentiële klimaatimpact van vergassing als techniek (en verzamelnaam voor meerdere vergassingsprocessen) van gemengde kunststoffen. Voor vergassing van bijvoorbeeld reststromen en biomassa kunnen de uitkomsten nog wel eens sterk afwijken. Bij hoge temperatuur vergassing vindt verhitting van de feedstock tussen de 800-1000 graden celsius met toevoer van zuurstof plaats. De feedstock wordt tijdens de hoge temperatuur vergassing afgebroken tot moleculen (een combinatie van H<sub>2</sub> en CO-moleculen) wat resulteert in syngas. Afhankelijk van de kwaliteit, kan dit syngas geschikt zijn om te verwerken tot methanol door de chemische industrie en een basis vormen voor nieuwe monomeren. Dit is echter een bewerkelijke route. De output van vergassing kan ook worden bijgemengd bij brandstoffen. In dat geval is er volgens de LAP3 definitie van chemische recycling, geen sprake van recycling.

De eisen aan de feedstock voor vergassing met betrekking tot homogeniteit en zuiverheid zijn in vergelijking met de vereisten voor solvolyse en depolymerisatie beperkt. Vergassing is minder gevoelig voor fluctuaties in de feedstock. Wel is een voorbereidingstap nodig, om de (huidige) beschikbare kunststof verpakkingstromen geschikt te maken voor vergassing. Rigide kunststof verpakkingen kunnen verwerkt worden, maar ook beperkt PVC, folies en multilayers passen in het proces. Kunststof verpakkingen maken slechts een beperkt deel uit van de totale feedstock voor vergassing. Ongeveer 20% van de feedstock bestaat uit kunststof, deze verhouding is bepalend voor de totale feedstockprijs en de business case.

In deze analyse definiëren we een proces als chemische recycling wanneer de output van het proces opnieuw ingezet wordt als grondstof (zie kader in hoofdstuk 3.1). Wanneer vergassing van kunststof verpakingsafval leidt tot een outputproduct dat wordt toegepast als brandstof, valt het proces niet onder deze definitie van chemische recycling.



Figuur 5: Schematische weergave van het onderzochte voorbeeldproces van vergassen (met recycleverliezen in de kunststofverpakkingketen als input en methanol als output).

#### 5.4.1 Input- en outputstromen

Kunststof verpakkingen vormen maar een aandeel van de totale feedstock voor vergassing. De toevoer van kunststof verpakkingen als inputstroom zijn daarom maar voor een deel van invloed op het al dan niet van de grond komen van een installatie. Het kunststof dat vergast wordt is een 'blend-in' (aandeel van 20-30% van totale feedstock) van andere inputstromen, met name biomassa<sup>47</sup>. Voor het omzetten van biomassa naar biobrandstoffen gelden stimuleringsmaatregelen die van toepassing zijn wanneer (een deel van) de output als biobrandstof wordt ingezet. Toepassing van het syngas of methanol als (grondstof voor) brandstof bij de voorwaarde uit LAP3 om de output van het recyclingproces 'in te zetten als grondstof voor de maakindustrie'.

In totaal is er jaarlijks 114 kton stroom mix kunststoffen en de kunststof verpakkingen uit de recycleverliezen beschikbaar afkomstig van huishoudens. Deze kunststof verpakkingen kunnen verwerkt worden in een vergassingsproces<sup>48</sup>. De output van vergassing is syngas, dat kan worden

<sup>47</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.

<sup>48</sup> Wanneer ook het afval uit de KWD-sector op een zelfde manier gescheiden, gesorteerd en gerecycled zou worden, kan dit jaarlijks leiden tot 84 kton input voor vergassing.

bijgestookt of opgewerkt tot methanol voor de chemische industrie. Methanol wordt nu meestal uit aardgas of kolen geproduceerd. Bij de stap om het syngas om te zetten naar methanol wordt veel zuurstof toegevoegd als hulpstof.

#### 5.4.2 Klimaatimpact

Vergassing van de sorteer- en recycleverliezen wordt vergeleken met verbranding inclusief energierugwinning, omdat dit de huidige verwerkingsroute voor deze kunststof verpakkingen is. Vergassing levert een klimaatimpact op van -2,3 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ton ten opzichte van verbranden. Ten opzichte van de huidige mechanische recycling van de stroom mix kunststoffen leidt vergassing van de stroom mix kunststoffen een klein klimaatvoordeel op van -0,3 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten/ton input.

Klimaatimpact	Vergassing recycleverlies	Vergassing mix kunststoffen
<b>Tov mechanisch recyclen tot kunststofrecycklaat voor dikwandige toepassingen</b>		-0,3 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input
<b>Tov verbranden in AEC</b>	- 2,3 ton CO <sub>2</sub> -eq./ton input	

#### 5.4.3 Proceskosten van voorbeeldproces vergassing (hoge temperatuur vergassing)

Bij de berekening van de proceskosten en EBITDA van een voorbeeldproces van vergassing van sorteeresidu is het proces van hoge temperatuur vergassing benaderd. In de berekening is een negatief tarief voor de feedstock gehanteerd van -€ 50 per ton sorteer- en recycleverliezen (dat wil zeggen, de recycler ontvangt geld voor het afnemen van deze stroom) en een gemiddelde afzetprijs van € 250 per ton methanol.

Bij een capaciteit van 100 kton input per jaar bedragen de investeringskosten 81,9 miljoen euro en de jaarlijkse operationele kosten 40,8 miljoen euro<sup>49</sup>. Wat opvalt in de modelberekening van de proceskosten is:

- Deze berekening van de proceskosten is gebaseerd op de aanname dat er een feedstockstroom wordt gebruikt die voor een groot deel uit kunststoffen bestaat (sorteer- en recycleresidu). In de praktijk worden ook andere afvalstromen ingezet, aangezien dit proces ook niet-kunststoffen kan verwerken. Welke stromen worden gebruikt en gemixt, is onder andere afhankelijk van de samenstelling, de tarieven van de inputstromen en de gewenste producten. De andere stromen die worden verwerkt zijn relevant voor de business case en het opschalingspotentieel;
- De productiekosten bedragen € 449 /ton feedstock (de basisberekening, zie grafiek 4);
- De operationele kosten beslaan het grootste gedeelte van de productiekosten. De grootste bijdrage aan de OPEX zijn de kosten voor de benodigde industriële gassen (waterstof en zuurstof). Bij dit proces speelt het energieverbruik een minder grote rol, aangezien er energie wordt opgewekt door verbranding van geproduceerd gas dat gebruikt kan worden voor het proces. Dit proces is minder gevoelig voor lange termijn schommelingen in de energieprij;

<sup>49</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.

- De investeringskosten worden voornamelijk beïnvloed door de vergassingsinstallatie en de compressor;
- Om van het geproduceerde syngas vervolgens methanol te maken zijn industriële gassen nodig. Hiervoor moet toevoercapaciteit worden aangelegd. In deze berekening is uitgegaan van de aanwezigheid van deze capaciteit in de omgeving / van inpassing in de nabijgelegen chemische industrie. Bij een op zichzelf staande vergassingsinstallatie moeten deze kosten worden ingecalculleerd;
- De EBITDA is negatief: -€ 89 /ton feedstock (in de basisberekening) feedstock;
- De processchaal, olieprijs en feedstockprijs zijn alle drie van grote invloed op de EBITDA; bij een kleine processchaal, hoge feedstockprijs en hoge olieprijs is er een negatieve waarde voor EBITDA. Bij een gunstige combinatie van deze parameters kan er een licht positieve EBITDA verwacht worden;
- De schaalgrootte is van bijzonder belang: bij een grote schaal worden de productiekosten gedomineerd door de OPEX in plaats van de CAPEX, wat resulteert in een gunstig schaaffect. Vergassingfabrieken presteren duidelijk beter bij opschaling; uit deze beschouwing volgt dat het bouwen van een kleine vergassingsfabriek funest is voor het ontwikkelen van een positieve EBITDA;
- Een andere feedstockstroom die beschouwd is, is de stroom mix kunststoffen. Door een andere samenstelling en daardoor andere energetische waarde van deze stroom, zijn de productiekosten iets lager (€ 412 /ton feedstock) en de EBITDA is iets hoger (-€ 82 /ton feedstock).

Hoge temp vergassing van sorteer residu (schaalgrootte 100 kton/jr)	
<b>CAPEX (M€)</b>	81,9
<b>Proceskosten (OPEX M€/jr)</b>	40,8
<b>Feedstock prijs (€/ton feedstock)</b>	-50
<b>Procesefficiëntie (massa %)</b>	143% <sup>50</sup> (>100% door toevoeging van zuurstof en waterstof)
<b>Gemiddelde outputprijs (€/ton product)</b>	250 (methanol)
<b>Productiekosten (€/ton feedstock)</b>	449
<b>EBITDA (€/ton feedstock)</b>	-89

<sup>50</sup> De helft van het gewicht van methanol komt door toevoeging van zuurstof in de omzetting van syngas naar methanol: van 1 kton feedstock wordt 1.43 kton outputproduct gemaakt.





Grafiek 4: Productiekosten van het voorbeeldproces hoge temperatuur vergassing

## 6 Kansen en barrières in beleid en regelgeving

Chemische recycling krijgt steeds nadrukkelijker positie als route voor grondstoffen om ketens te sluiten. Dit vraagt om regelgeving en beleid dat hierop afgestemd is. Zo komt chemische recycling onder meer naar voren als nieuwe categorie van recycling (bijvoorbeeld in het Landelijk Afvalbeheersplan) en zijn er stimuleringsmaatregelen (bijvoorbeeld de subsidies op chemische recycling van EZK). Bestaande regelgeving biedt al de nodige mogelijkheden en kansen voor (de verdere ontwikkeling van) nieuwe chemische recyclingtechnieken. Op een aantal punten is nadere concretisering van of ruimte in regelgeving nodig om chemische recycling te realiseren in Nederland. In afspraken en regelgeving over verpakkingen en in afvalbeleid worden uiteenlopende definities van (chemische) recycling gehanteerd, zie hiervoor het kader in hoofdstuk 3.1.

In onderstaande beschrijving van kansen en barrières maken we onderscheid tussen randvoorwaarden om chemische recycling van verpakkingen op industriële schaal te ontwikkelen en kansen voor de toepassing van recycalaat uit chemische recycling. Tot slot gaan we in op beleidsontwikkelingen die de beschikbare inputstromen voor chemische recycling kunnen beïnvloeden.

### 6.1 Chemische recycling in LAP3

Het Landelijk Afvalbeheersplan 3 (LAP3) is eind december 2017 in werking getreden en loopt van 2017 tot en met 2023. In de afvalhiërarchie (zie figuur 6) is onderscheid gemaakt tussen een aantal vormen van recycling, op basis van de toepassingsmogelijkheden van het recycalaat. Chemische recycling is daarbij als laagste vorm van recycling gedefinieerd (c3). Om de transitie naar de circulaire economie te stimuleren, kan de overheid op deze vormen van recycling sturen. Dit kan via minimumstandaarden (vergunningverlening aan bepaalde vormen van recycling) en via beleid voor grensoverschrijdend transport van afvalstoffen (transport beperken indien het een laagwaardigere toepassing betreft). Het LAP3 is hiervoor het kader. Bevoegde gezagen voor vergunningverlening maken hierbij geen eigen afweging.



Figuur 6: De afvalhiërarchie uit LAP3.<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Bron: <https://lap3.nl/beleidskader/deel-gemeen/b9-recycling-binnen/>

Chemische recycling wordt in de basis als minst hoogwaardige vorm van recycling aangemerkt vanwege de vaak hoge kosten, het hoge energiegebruik en de output die niet in alle gevallen direct als grondstof toepasbaar is. In LAP3 staat dat de bijdrage aan de transitie naar een circulaire economie in specifieke gevallen echter zodanig kan zijn, dat chemische recycling alsnog als voorkeursrecycling kan worden aangemerkt<sup>52</sup>.

Volumes die gerecycled zijn naar hun oorspronkelijke materialen, tellen mee als recycling en dragen bij aan het behalen van de VANG-doelstellingen<sup>53</sup>. Te weten: 100 kg huishoudelijk restafval per persoon in 2020 in combinatie met een toename van het recyclepercentage tot 75% en 30 kg huishoudelijk restafval per persoon in 2025. Daarnaast is een halvering van het bedrijfsafval voorzien, naar 1.25 miljoen ton in 2022. De Nederlandse ambities zijn daarmee ambitieuzer dan de Europese.

Met het expliciet benoemen van chemische recycling als recyclingcategorie in het LAP3, worden deze chemische processen expliciet onderscheiden van energieteerugwinning. Het chemisch proces wordt alleen aangemerkt als vorm van recycling wanneer het is gericht op het produceren van grondstoffen voor de 'maakindustrie' en niet wordt toegepast als brandstof.

## 6.2 Chemische recycling en het Rijksbrede programma CE

Het Rijksbrede programma Circulaire Economie 'Nederland Circulair in 2050' is in 2016 tot stand gekomen. Het programma gaat uit van een halvering van de afhankelijkheid van primaire grondstoffen in 2030, om volledig circulair te zijn in 2050. Het behalen van deze ambitie zal grote veranderingen vergen. In deze transitie spelen veel partijen een rol, onder andere bedrijven, overheden, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties. In het Grondstoffenakkoord hebben partijen deze ambities onderschreven. In vijf transitieagenda's, waaronder een voor kunststoffen, zijn de ambities uitgewerkt. In de Transitieagenda Kunststoffen is de ambitie opgenomen om in 2030 10% chemische recycling te realiseren, deze ambitie wordt ingevuld met kunststof verpakkingen en niet-verpakkingen. In het Actieplan Chemische Recycling<sup>54</sup> wordt de ambitie om 10% van de kunststoffen chemisch te recyclen uitgewerkt in onder andere een R&D-programma, een heldere definitie en een onderscheid tussen verschillende typen chemische recyclingprocessen die passen in een nationale investeringsstrategie voor chemische recyclinginstallaties. Het Actieplan wordt ontwikkeld op basis deze analyse chemische recycling van kunststof verpakkingen.

## 6.3 Subsidiemogelijkheden voor chemische recycling

Om de ontwikkeling naar chemische recycling te ondersteunen is vanuit het ministerie van EZK een aantal subsidiemogelijkheden beschikbaar, op grond van de Regeling nationale EZ-subsidies:

- CO<sub>2</sub>-reductie industrie (Titel 3.20, Regeling Nationale EZ-subsidies): Er is subsidie beschikbaar voor investeringen in chemische recycling van kunststoffen die leiden tot CO<sub>2</sub>-reductie. Van

---

<sup>52</sup> Zie LAP3. Paragraaf A.4.2.2.

<sup>53</sup> Programma Van Afval Naar Grondstof, opgezet door Rijksoverheid (min I&W), NVRD en VNG.

<sup>54</sup> Transitieagenda Kunststoffen, blz 33, via:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/01/15/bijlage-3-transitieagenda-kunststoffen>

het totale subsidieplafond van € 17.5 miljoen. is ten minste € 1.5 miljoen. gereserveerd voor chemische recycling.

- Biobased Economy, Groen Gas en Recycling: Innovatieprojecten (Titel 4.2 Topsector Energieprojecten): Er is subsidie beschikbaar voor pilotprojecten die chemische recycling van kunststoffen betreffen. Het totale budget (waaronder dus meer kan vallen dan chemische recycling) is € 3.1 miljoen.

## 6.4 Concretisering en aanpassing van regelgeving om chemische recycling van kunststof verpakkingen te stimuleren

### Randvoorwaardelijk: Chemische recyclers aanmerken als gecertificeerde recyclers

Vanuit de systematiek van producentenverantwoordelijkheid betalen producenten en importeurs van verpakkingen een bijdrage voor de verwerking van de door hen op de markt gebrachte verpakkingen. Het Afvalfonds Verpakkingen verstrekt vervolgens vergoedingen aan gemeenten voor de inzameling en sortering van huishoudelijk verpakkingsafval. Het afreken- en meetmoment is de poort van de recycler (het aantal tonnen kunststof verpakkingen dat ter recycling wordt aangeboden). Deze systematiek is vastgelegd in de Raamovereenkomst Verpakkingen (2013-2022).

Het vervolg na afloop van de Raamovereenkomst is onzeker. De bestaande afspraken in de Raamovereenkomst en de vergoedingssystematiek zijn geënt op mechanische recycling en materiaalhergebruik. Op dit moment valt chemische recycling valt bij deze afspraken niet onder de vergoedingssystematiek. Gezien de beleidsmatige erkenning van chemische recycling als vorm van recycling, zou een plek voor chemische recycling in de vergoedingssystematiek onderzocht moeten worden. Hiervoor is het nodig dat individuele chemische recyclers door het Afvalfonds Verpakkingen<sup>55</sup> worden erkend als gecertificeerde recyclers voor kunststoffen. De huidige vergoedingen volgen een dalende trend en zijn vastgesteld tot en met 2019. Op dit moment worden de afspraken in de Raamovereenkomst Verpakkingen geëvalueerd, dit biedt mogelijkheden om ruimte te bieden in de aan te passen afspraken om kunststof verpakkingen ook chemisch te kunnen recycleren waar dit meerwaarde biedt ten opzichte van de huidige mechanische verwerking.

### Stimuleren toepassing van recycalaat: aanpassing in regelgeving voor voedselveiligheid

Chemische recyclingstechnieken zijn erop gericht kunststoffen zoveel mogelijk tot hun oorspronkelijke bouwstenen (monomeren) terug te brengen of nog verder tot basisgrondstoffen voor de chemie (syngas of nafta). Bovendien kan chemisch recycleren verontreiniging (van polymeren), additieven en kleur afscheiden. Bij mechanisch recycleren kan dat niet. Monomeren zijn in de markt meer waard dan basisgrondstoffen. Ook zijn er bij monomeren later minder stappen nodig om er weer kunststof van te maken. Er zijn meerdere bedrijven die initiatief nemen om chemische recyclingprocessen te ontwikkelen. Elk met een eigen techniek of een specifiek proces. Daarbij geldt niet dat elke techniek of elk proces even ver gaat in het terugbrengen van de inputstroom naar de oorspronkelijke bouwstenen van kunststoffen.

---

<sup>55</sup> Waaronder uitvoeringsorganisaties Nedvang en Verpakkingsketen B.V. (VPKT) vallen en betrokken zijn bij de samenwerking en afstemming met sorteerdere en recyclers.

De verwachting is dat - aangezien chemische recycling het materiaal zoveel mogelijk terugbrengt naar de oorspronkelijke bouwstenen en verontreiniging kan worden verwijderd - er een grondstof ontstaat die op gelijke wijze als een virgin grondstof ingezet kan worden, bijvoorbeeld in een foodgrade toepassing. Verdere ontwikkelingen van technieken en testen zullen de mogelijkheden hiertoe verder in kaart brengen. In regelgeving is vastgelegd dat 95% van het gerecyclede verpakkingsmateriaal, dat opnieuw wordt toegepast in voedselverpakkingen, te herleiden moet zijn naar voedselverpakkingen<sup>56</sup>. Wanneer wettelijke kaders het mogelijk maken dat recycalaat - afkomstig van chemische recycling - toepasbaar is in voedselverpakkingen, biedt dit een kans voor de toepassingsmogelijkheden. En ook voor de vraag naar gerecyclede kunststoffen en een uitbreiding van de mogelijkheden voor meer circulaire voedselverpakkingen.

Hierin onderscheiden de technieken solvolyse en depolymerisatie zich van pyrolyse en vergassing. Omdat solvolyse en depolymerisatie de kunststoffen terugbrengen op monomeer en polymeerniveau, moet op basis van de huidige voedselveiligheidsregelgeving worden aangetoond dat foodgrade toepassing past binnen de huidige wetgeving. Wanneer de output van pyrolyse of vergassing van verpakkingsafval wordt teruggebracht in de grondstoffenketen om nieuwe verpakkingsmaterialen van te maken, is het materiaal zo ver afgebroken dat het vergelijkbaar is aan virgin grondstof, waardoor dit geen rol speelt.

#### **Stimuleren toepassing van recycalaat: CO<sub>2</sub>-belasting virgin kunststof met als doel grondstofbehoud**

Een mogelijke CO<sub>2</sub>-belasting op de productie en/of het gebruik van virgin kunststoffen zal een financiële stimulans betekenen voor de inzet van meer recycalaat. Dit kan dus ook een stimulans zijn voor de verdere ontwikkeling van chemische recycling, omdat met de toenemende vraag naar gerecyclede kunststoffen ook de behoefte aan (nieuwe) verwerkingstechnieken voor nieuwe toepassingsmogelijkheden toeneemt. Een andere maatregel om hetzelfde effect te kunnen bereiken, is het richten op gerecyclede materialen of grondstoffen (bijvoorbeeld het verlagen van het BTW tarief op recycalaat).

#### **Beleid ten aanzien van biobrandstoffen beïnvloedt mogelijkheden grondstofbehoud en toepassing recycalaat**

Onder de noemer van chemische recycling vallen verschillende processen. Kortgezegd zijn er processen die leiden tot monomeren of polymeren (depolymerisatie- en solvolyseprocessen). Hiervan kan met een beperkte inspanning een product of verpakking gemaakt worden. Daarnaast zijn er processen die een brandstof of grondstof produceren (pyrolyse- en vergassingsprocessen). Waarbij de grondstof weer kan worden toegepast in nieuwe chemicaliën of materialen.

Het beleid van de Europese Unie richt zich specifiek op het stimuleren van biobrandstoffen voor onder andere het wegverkeer. Het doel daarvan is om de broeikasgasuitstoot te verminderen. Doordat de Europese biobrandstoffenrichtlijn uit 2003 niet verplicht was, boekte men onvoldoende

---

<sup>56</sup> Op het gebied van voedselveiligheid baseert de Europese Unie haar wetgeving op de adviezen van de European Food Safety Authority (EFSA). Een van de richtlijnen van de EFSA – tenminste 95% van het materiaal in het recyclingproces moet te herleiden zijn naar materiaal afkomstig uit de voedingsmiddelenindustrie – beperkt grootschalige toepassing van gerecyclede kunststoffen in kunststof voedselverpakkingen. Buiten het gebruik van gerecyclede PET afkomstig van de statiegeldstroom, kan bij andere kunststofstromen op dit moment onvoldoende worden voldaan aan de traceerbaarheidseisen van de EFSA.

voortgang. Om het gebruik van biobrandstoffen verder te stimuleren, geldt sinds 25 juni 2009 de Europese richtlijn hernieuwbare energie (Renewable Energy Directive, RED, 2009/28/EG). Deze richtlijn heeft een hogere, verplichte doelstelling van 10% in 2020 voor de toepassing van biobrandstoffen in vervoer. Er zijn voorstellen om brandstof uit afval ook in deze regeling op te nemen en dus te laten meetellen als biobrandstof. Op dit moment is dit nog niet het geval. Met name NGO's zijn hier kritisch op. Nederlands beleid werkt met HBE certificaten om producenten van biobrandstoffen te ondersteunen. Eind 2017 had een certificaat (gelijk aan 1 gigajoule) een waarde van tussen de € 7 en € 9. Momenteel wordt het beleid herzien, waarbij het de bedoeling is om te differentiëren naar verschillende typen brandstof, zodat additionele ondersteuning geboden kan worden aan bepaalde soorten brandstoffen.

Hoe het (Europese) beleid er in de toekomst uit gaat zien, is nog niet helemaal duidelijk. Het eerste aandachtspunt voor chemische recycling zal zijn, of de Europese richtlijn producten van waste-to-fuel processen ook daadwerkelijk gaat aanmerken als een brandstof die valt onder de RED. Europa kan dit zelf doen of het overlaten aan de individuele lidstaten. Met name bij de technieken waarbij een product wordt gemaakt dat dicht ligt bij een brandstof kan er – afhankelijk van de aantrekkelijkheid van het (stimulerings)beleid – concurrentie zijn tussen hernieuwde inzet als kunststof (via waste-to-chemicals) of verwerking tot brandstof uit afval (waste-to-fuel). Bij een aantrekkelijk (Nederlands) beleid ten aanzien van brandstof uit afval zullen 'chemisch recyclers' eerder geneigd zijn een dergelijke brandstof te produceren. Waar dit omslagpunt precies ligt hangt onder andere af aan de herkomst van het afval. Omdat bedrijfsmatig afval (in tegenstelling tot) huishoudelijk afval geen vergoedingen kent, heeft dit – bij beleid gericht dat het verwerken van afval tot brandstoffen stimuleert – een grotere kans om te worden ingezet als brandstof. Tevens is er oplettendheid vereist of er geen stromen die ook via mechanische recycling verwerkt zouden kunnen worden, via dit proces verwerkt worden.

## **6.5 Maatregelen en beleidsinstrumenten die andere feedstock dan verpakkingen voor chemische recycling beïnvloeden**

Tot slot zal een aantal (actuele) beleidsinstrumenten en -voorstellen invloed hebben op de beschikbare input voor chemische recycling. Bedoeld om inzicht te geven in mogelijke effecten, niet bedoeld om een compleet beeld te schetsen.

### **Voorgenomen verhoging verbrandingsbelasting als stimulans voor chemische recycling**

De voorgenomen verhoging van de verbrandingsbelasting (Regeerakkoord Rutte III) is gunstig voor chemische recycling wanneer dit leidt tot minder verbranding van afval waardoor meer materiaal chemisch gerecycled kan worden tot nieuwe grondstoffen. Een verhoging van de verbrandingsbelasting kan ook een stimulerend effect hebben op het scheidingspercentage van bedrijven en de verwerking van kunststof verpakkingen die uitvallen tijdens sorteren en recyclen, vanwege de hoge(re) kosten van verbranding.

### **Weelabex regelgeving leidt tot meer kunststof input voor chemische recycling**

Weelabex (voluit Waste Electric and Electronic Equipment LABEL of Excellence) is een initiatief van Europese inzamelorganisaties voor elektrische en elektronische apparatuur, waaronder Wecycle, die zijn verenigd in het WEEE Forum. Weelabex geeft uniforme regels voor inzameling, opslag, transport,

verwerking, recycling en hergebruik van e-waste. Onafhankelijke auditors controleren de naleving van deze Weeelabex regels en rapporteren over verwerkte volumes en bereikte recyclingresultaten. Nederland heeft als een van de eerste landen deze regels verplicht gesteld. De regelgeving zorgt voor gereguleerde inzameling en verwerking en leidt tot meer kunststof input vanuit elektrische en elektronische apparatuur, die (mogelijk) chemisch gerecycled kan worden.

### **Uitbreiden productenverantwoordelijkheid leidt mogelijk tot nieuwe kunststofstromen voor chemische recycling**

De Nederlandse regering is voornemens de producentenverantwoordelijkheid (EPR) uit te breiden op onder meer kleding, meubels en (kunststof) wegwerpartikelen. Verbreding en verdieping van de producentenverantwoordelijkheid kan producenten en retailers uitdagen om alleen nog circulair ontworpen producten op de markt te brengen. Om de hoeveelheid zwerfvuil te beperken, wordt gekeken naar de mogelijkheid tot een verbreding van de producentenverantwoordelijkheid naar wegwerpproducten die kunststof zwerfvuil veroorzaken. De meest voorkomende wegwerpproducten die in zwerfvuil worden aangetroffen, zijn naast verpakkingen vooral sigarettenfilters, kauwgom en ballonnen<sup>57</sup>. Mogelijk levert dit beleidsvoornemen nieuwe kunststofstromen op die passen binnen de chemische recyclingstechnieken.

### **Import als mogelijkheid de input te vergroten**

Stromen die eerder vanuit verschillende (Europese) landen werden geëxporteerd naar China kunnen mogelijk worden ingezet voor chemische recycling in Nederland. Landen als België, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk zijn interessant om te bezien op importmogelijkheden (voorraden, uitvallen en de mixed plastic stroom). Dit lijkt te kunnen binnen de bestaande wet- en regelgeving. Hierbij is wel nader onderzoek nodig naar de juridische en technische mogelijkheden, want de kunststofstromen moeten bijvoorbeeld vergelijkbaar zijn qua samenstelling.

### **EU voorstel om single-use plastics aan te pakken kan input voor chemische recycling beperken**

Het gebruik van kunststof zal naar verwachting de komende jaren verder groeien. Het recente voorstel van de EU om single-use plastics te verbieden, of althans nadere regels te stellen rondom de tien kunststofproducten voor eenmalig gebruik die het meest worden gevonden op de stranden en in de zeeën van Europa (bestek, borden, rietjes, etc.), zal deze toename – gezien de relatief beperkte volumes die het betreft – wat kunnen afremmen.

---

<sup>57</sup> Zie bijvoorbeeld Transitieagenda Kunststoffen, pagina 30:  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/01/15/bijlage-3-transitieagenda-kunststoffen>

## Bijlagen





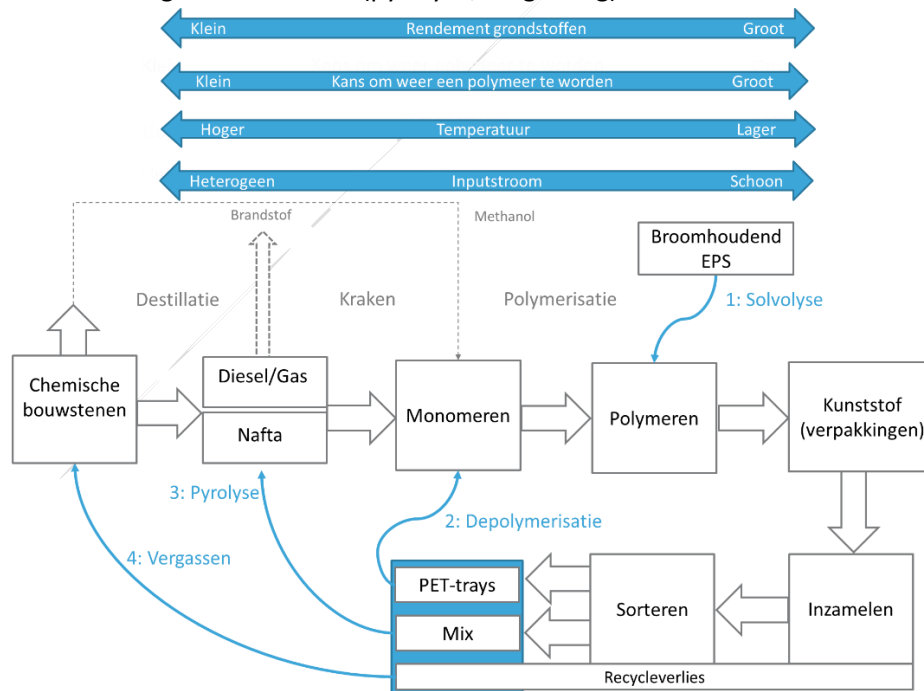
## Bijlage 1: Projectaanpak Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling

Chemische recycling is een overkoepelende term die in deze rapportage is gedefinieerd als: het door middel van een chemisch proces terugbrengen van kunststof naar de oorspronkelijke bouwstenen: de polymeren, monomeren of atomen, waarna deze weer worden toegepast als grondstoffen in de maakindustrie.

In deze analyse onderscheiden we vier technieken voor chemische recycling van kunststoffen:

- Solvolyse (oplossen)
- Depolymerisatie<sup>58</sup> (oplossen en verwarmen)
- Pyrolyse<sup>59</sup> (verhitting)
- Vergassen<sup>60</sup>

De vier chemische recycling technieken die in de analyse worden uitgewerkt, hebben elk hun eigen kenmerken en bevatten ieder weer verschillende processen. De technieken zijn grofweg in te delen in relatief laag-energetische processen - die geschikt zijn voor verwerking van relatief zuivere feedstock - (solvolyse, depolymerisatie) en hoogenergetische processen - die in staat zijn inputstromen met een gevarieerde samenstelling te verwerken - (pyrolyse, vergassing).



Figuur 8: Schematische weergave van vier voorbeeldprocessen chemische recyclingtechnieken op basis van de vereiste processtappen, eisen aan de feedstock en energiebehoefte.

<sup>58</sup> Waaronder magnetische depolymerisatie

<sup>59</sup> Waaronder conventionele technieken en geïntegreerde hydrolyse

<sup>60</sup> Waaronder lage temperatuur- en medium temperatuur vergassing

In de economische en klimaatanalyse is voor elk van de vier technieken een voorbeeldproces gemodelleerd met als inputstroom (voor zover mogelijk) kunststof verpakkingen die nu nog niet mechanisch worden gerecycled, of mechanisch worden gerecycled met beperkte toepassingsmogelijkheden.

De uitgangspunten bij het tot stand komen van de analyse zijn:

- De verkenning van chemische recycling voor kunststof verpakkingen komt voort uit de behoefte aan afvalverwerkingscapaciteit en groeiende recyclingambities voor kunststoffen. Daarom richt de analyse zich op de chemische recycling van kunststof verpakkingenstromen die nog niet mechanisch worden gerecycled.
- Mechanische recycling van kunststof verpakkingen heeft de voorkeur omdat het de kortste cyclus in circulariteit betreft. Daarom gaan we uit van chemische recycling als aanvulling op mechanische recycling: mechanische recycling van kunststof verpakkingen waar het mogelijk is, chemische recycling van kunststof verpakkingen waar het moet. Op de langere termijn kunnen chemische recyclingstechnieken mogelijkwijd mechanische recyclingstechnieken vervangen doordat marktwerking een grotere rol gaat spelen, bijvoorbeeld door een toenemende vraag naar gerecyclede grondstoffen die foodgrade of hoogwaardig toegepast kunnen worden.
- In deze analyse hanteren we de definitie van chemische recycling conform LAP3: er is sprake van 'recycling' wanneer de output van recycling opnieuw ingezet wordt als grondstof voor de maakindustrie.
- Er wordt uitgegaan van de huidige samenstelling van gesorteerde kunststofverpakkingenstromen of sorteer- en recycleverliezen.

### **Fundamenten voor de conclusies en acties voor opschaling**

Om tot acties voor opschaling van chemische recycling van kunststof verpakkingen te komen, zijn een economische en klimaatanalyse uitgevoerd op basis van onderzoek door CE Delft en TNO. De verkregen inzichten en data vormen het fundament onder de conclusies en acties.

1. Inventarisatie kansrijke inputstromen voor chemische recycling van kunststof. In deze analyse ligt de focus op de stromen kunststof verpakkingenafval die veelbelovend lijken om chemisch te recycleren, omdat mechanische recycling op dit moment niet gebeurt of omdat de output van mechanische recycling beperkte toepassingsmogelijkheden heeft. De volumes van kansrijke inputstromen voor chemische recycling en de scenario's voor de groei van deze inputstromen richting 2030, zijn gebaseerd op de verkenning die CE Delft heeft uitgevoerd om de klimaateffecten van chemische recycling te berekenen<sup>61</sup>. De kansrijke stromen kunststof verpakkingenafval worden beschreven in hoofdstuk 4.4.
2. Verkenning van de mogelijke kansen van chemische recycling van kunststof verpakkingenafval voor Nederland. Hoe kunnen investeringen in, of subsidies voor, chemische recycling op termijn economisch houdbaar zijn en bijdragen aan de economische- of kennispositie van Nederland? De kansen die chemische recycling in Nederland kan bieden zijn beschreven in hoofdstuk 3 van de analyse.

---

<sup>61</sup> Een verkenning van de klimaateffecten van chemische recycling is uitgevoerd door CE Delft in opdracht van het Ministerie van EZK. Deze verkenning is in opdracht van het KIDV aangevuld met informatie over beschikbare stromen en technieken ten behoeve van deze analyse.

3. CE Delft heeft de klimaateffecten van de vier genoemde technieken in kaart gebracht. Hierbij zijn onder andere het energiegebruik van de processtappen en de output - per chemische recyclingtechniek - uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten per ton. Het klimaateffect wordt vergeleken met de verwerkingstechniek die op dit moment van toepassing is op de inputstroom. De klimaatimpact van de vier technieken wordt per techniek beschreven in hoofdstuk 5.
4. Analyse van proceskosten voor de vier technieken. TNO<sup>62</sup> heeft per techniek de proceskosten op generiek niveau berekend aan de hand van modellering van de kapitaalkosten, processtappen, kosten van de inputstromen en afzettarieven van de outputstromen. De proceskosten zijn gebaseerd op schaalgroottes die aannemelijk zijn voor de beschikbare inputstromen, zoals bepaald in de verkenning van klimaateffecten door CE Delft.<sup>63</sup> De proceskosten worden per techniek op hoofdlijnen beschreven in hoofdstuk 5.
5. In hoofdstuk 6 worden de barrières en kansen voor chemische recycling in het huidige beleid en de regelgeving geïnventariseerd.

Onderstaand schematisch overzicht geeft de uitvoering van de uitgevoerde onderdelen door TNO, CE Delft en KIDV in samenhang weer.

Technieken	Solvolyse	Depolymerisatie	Pyrolyse	Vergassing
Kansen voor Nederland	CE Delft iov EZK (en KIDV): Verkenning chemische recycling			
	TNO: Potentie chemische recycling			
	KIDV: Verkenning kansen chemische recycling van kunststof verpakkingen			
Economische analyse	TNO: Verkenning business cases			
Analyse klimaatimpact	TNO: Quickscan LCA	CE Delft iov EZK (en KIDV): Verkenning chemische recycling		
Barrières en kansen in regelgeving	KIDV: Verkenning barrières en kansen in regelgeving			
Acties chemische recycling van kunststof verpakkingen	KIDV: Conclusies en acties om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen			

Figuur 7: Uitgevoerde analyses binnen het project om te komen tot de conclusies en acties voor opschaling.

<sup>62</sup> Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling processen, TNO in opdracht van het KIDV, oktober 2018.

<sup>63</sup> Verkenning chemische recycling, CE Delft, september 2018

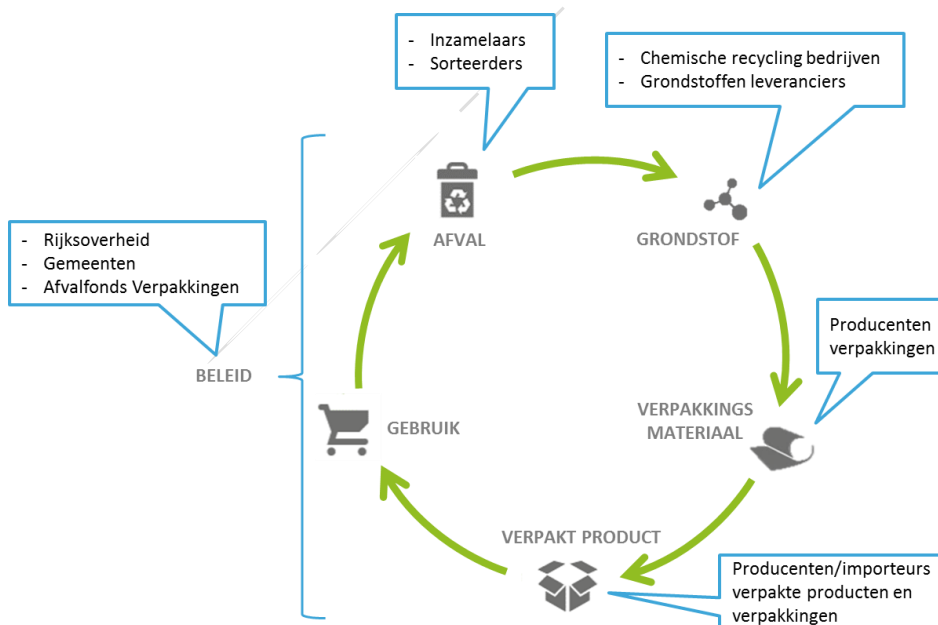
## Bijlage 2: Doelstelling en aanleiding van de analyse

### Waarom een analyse van chemische recycling kunststof verpakkingen?

Hoewel de inzameling en mechanische recycling van kunststof verpakingsafval de afgelopen jaren sterk zijn toegenomen, kent de markt voor gerecycled kunststof nog vele uitdagingen. Naast de bestaande recyclingtechnieken wordt gezocht naar alternatieve of aanvullende technieken om de recycling van kunststof verpakkingen te verbeteren, te vergroten en de kwaliteit van het recyclaat te verhogen, zodat de toepassingsmogelijkheden toenemen. Chemische recycling is één van de mogelijke technieken en biedt een aantal voordelen ten opzichte van mechanische recycling.

Het opschalen van chemische recycling van kunststof verpakkingen van pilot- naar industriële schaal is in het Kunststofketenproject van het KIDV naar voren gekomen als een systeemwijziging met grote impact op het verder sluiten van de kunststofverpakkingketen. De Transitieagenda Kunststoffen definieert de ambitie om in 2030 jaarlijks 250 kton output uit chemische recycling te realiseren in aanvulling op mechanische recycling van kunststoffen producten en verpakkingen.

In voorliggende analyse beschrijven we te ondernemen acties en te scheppen voorwaarden om chemische recycling van kunststof verpakkingen op te schalen. Daarnaast is de analyse geschreven om inzicht te geven in de kansen, juridische barrières en (on)mogelijkheden van chemische recyclingtechnieken, de klimaatimpact en de kosten. De analyse is geschreven voor stakeholders in de afval- en recyclingsector om inzicht te geven in welke rol chemische recycling kan spelen voor de verwerking van kunststof verpakkingen tot grondstoffen met brede toepassingsmogelijkheden. Daarnaast geven de conclusies en acties voor opschaling inzicht in de te maken afwegingen en in te zetten acties.



Figuur 8: Doelgroepen van deze analyse en bijbehorende acties.

## Bijlage 3: Draagvlak en reflectie

### **Klankbordgroep**

Ten behoeve van het draagvlak voor - en de reflectie op - de resultaten in 'Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling', is een brede klankbordgroep drie keer bij elkaar gekomen. In de klankbordgroep zijn de verschillende belanghebbenden in de kunststofverpakkingketen, chemische industrie en Rijksoverheid vertegenwoordigd. Ook de (tussentijdse) resultaten van de studies naar de proceskosten en de klimaatimpact van TNO en CE Delft en de uitgangspunten van deze rapportage zijn getoetst in de klankbordgroep. De samenstelling van de klankbordgroep is als volgt:

- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- FNLI
- NRK
- Plastics Europe NL
- VNO-NCW
- Havenbedrijf Rotterdam
- Stichting Natuur & Milieu
- VNCI

### **College van Onafhankelijke Experts (CvOE)**

Een concept versie van 'Chemische recycling van kunststof verpakkingen: analyse en mogelijkheden voor opschaling' is op 11 september 2018 voorgelegd aan de CvOE van het KIDV. Dit college heeft reflectie en inhoudelijk commentaar gegeven op de rapportage en de analyse. De input van de leden van de CvOE is verwerkt in de definitieve versie. De samenstelling van de CvOE is als volgt:

- Jacqueline Cramer
- Jan Paul van Soest
- Roland ten Klooster
- Jos Keurentjes
- Peter Rem