



Planbureau voor de Leefomgeving

BELEIDSMIX VOOR DE PET-KETEN IN TRANSITIE

Opties en instrumenten voor het verlagen van de klimaatimpact van PET

Daan in 't Veld, Corjan Brink, Mike Muller en Hans Eerens

November 2023

PBL

Colofon

Beleidsmix voor de PET-keten in transitie. Opties en instrumenten voor het verlagen van de klimaatimpact van PET.

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2023
PBL-publicatienummer: 4581

Contact

Daan.intVeld@pbl.nl

Auteurs

Daan in 't Veld, Corjan Brink, Mike Muller en Hans Eerens

Met dank aan

Dick van Dam, Olav-Jan van Gerwen, Aldert Hanemaaijer, Sonja Kruitwagen, Anne Gerdien Prins, Gerald Schut, Mariësse van Sluisveld, Jaco Stremler, Rob Weterings (allen PBL), Joep Tijm (Centraal Planbureau)

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Tekstcorrectie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: In 't Veld, D., C. Brink, M. Muller & H. Eerens (2023), *Beleidsmix voor de PET-keten in transitie. Opties en instrumenten voor het verlagen van de klimaatimpact van PET*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyse op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Beschrijving van de PET-keten	7
3 Opties voor een emissiearme PET-keten	11
4 Huidige beleidsinstrumenten	15
5 Voortgang in reductieopties voor PET	20
6 Belemmeringen voor emissiereductie	23
7 Conclusie	26
Literatuur	27

Samenvatting

Plastic producten zijn niet weg te denken uit onze samenleving. De productie en het gebruik van plastics kennen echter nadelen in de vorm van broeikasgasemissies en andere vormen van milieubelasting, zoals zwerfafval. Om deze milieubelasting terug te dringen, worden verschillende beleidsinstrumenten ingezet. In deze studie kijken we expliciet naar PET (polyethyleentereftalaat), een nuttig soort plastic om dranken en voedsel mee te verpakken. De bekendste toepassing van PET is de plastic fles: Nederlandse consumenten kopen jaarlijks ongeveer 1,5 miljard PET-flessen.

Weliswaar is PET de meest gerecyclede soort plastic, dat neemt niet weg dat de productie van PET leidt tot ongeveer 6,1 ton CO₂-equivalenten per ton PET, over de gehele keten. De keten van PET loopt van de productie van PET uit fossiele grondstoffen (zogenoemde fossiele PET) via de productie en het gebruik van verpakkingen tot aan de verbranding in de afvalfase. De broeikasgasemissies ontstaan zowel bij de productie als bij de verbranding van PET.

In deze verkennende studie gaan we in op de vraag in hoeverre de huidige beleidsinstrumenten de transitie naar een klimaatneutrale PET-keten bevorderen. Hoewel de PET-keten een internationale productieketen is, ligt de focus in deze studie op de productie, het gebruik en de verwerking in Nederland en het bijbehorende Nederlandse en Europese beleid. Hiertoe brengen we eerst de huidige productieketen in kaart, hoofdzakelijk lopend van fossiele grondstoffen tot aan verbranding.

Er zijn grofweg vier opties om de broeikasgasemissies in de PET-keten terug te dringen, namelijk door: (1) het verlagen van de vraag naar PET-korrels en schonere productie- en afvalverbrandingsprocessen, (2) meer hergebruik van PET-producten, (3) het vervangen van fossiele PET door gerecyclede PET (hierna r-PET), en (4) het gebruik van biograndstoffen, oftewel bio-PET in plaats van fossiele grondstoffen. Aan de afvalkant werken deze laatste twee systemen overigens complementair aan elkaar: bio-PET en fossiele PET kunnen op dezelfde manier worden gerecycled.

De recycling van PET is relatief ver ontwikkeld, zeker in vergelijking tot andere plastics. Ongeveer een zesde deel van het PET in Europa is r-PET; het overige deel bestaat uit fossiele PET. De huidige recycling van PET betekent echter niet dat er sprake is van een circulaire keten. Het merendeel van het herwonnen materiaal uit PET-flessen komt terecht in laagwaardigere toepassingen zoals etensbakjes. Voor andere PET-producten, zoals voedselverpakkingen, is een circulaire keten nog verder uit het zicht, omdat die niet apart ingezameld worden, en dus niet voor voedseltoepassingen gerecycled kunnen worden. Voor een klimaatneutrale PET-keten is het van belang dat de geproduceerde PET door hergebruik zo lang mogelijk in de keten blijft.

Het huidige Nederlandse beleid kent een mix van instrumenten om bedrijven (productie) en consumenten (gebruik) in de PET-keten aan te zetten tot een klimaatneutrale PET-keten. De belangrijkste beleidsinstrumenten die daar invloed op hebben zijn statiegeld, minimumeisen die worden gesteld aan de inzameling, aan recycling en aan het toepassen van het recyclaat, de afvalstoffenbelasting, het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing. Het statiegeldsysteem en de minimumeisen aan inzameling en recycling vallen onder de zogeheten Uitgebreide Productenverantwoordelijkheid (UPV); een vorm van beleid die producenten verantwoordelijk maakt voor wat er met hun producten gebeurt na het gebruik door consumenten.

Onze analyse laat zien dat de huidige beleidsinstrumenten bijdragen aan een schonere productie en recycling van PET en, zij het in mindere mate, tot meer inzet van bio-PET. Maar de huidige beleidsmix leidt niet tot een lager consumptievolume van PET of tot meer hergebruik. Dat de huidige beleidsmix onvoldoende aanzet tot meer toepassing van r-PET of bio-PET in de PET-keten komt vooral doordat fossiele PET goedkoper is dan r-PET of bio-PET, ondanks de beprijzing van CO₂-emissies en de eisen die aan inzameling en recycling worden gesteld.

Het werkt belemmerend dat er momenteel onvoldoende prijsprikkels zijn voor de maakindustrie – de schakel in de PET-keten die de relevante beslissingen neemt over de grondstofkeuze voor PET-producten. Daarbij is er sprake van een wederzijdse afhankelijkheid van de vraag- en aanbodzijde in de markt voor r-PET en bio-PET. Immers, zolang de vraag naar r-PET of bio-PET beperkt en onzeker is, zullen investeringen in de uitbreiding van de productiecapaciteit voor r-PET en bio-PET uitblijven. Voor nieuwe aanbieders van r-PET en bio-PET is het niet aantrekkelijk om tot die markt toe te treden. Andersom is het voor producenten van PET-producten risicovol om over te stappen op het gebruik van r-PET en bio-PET, zolang de capaciteit in het aanbod beperkt en onzeker is.

Implementatie van de Europese richtlijn voor het aandeel recyclelaar in PET-flessen (25 procent in 2025 en 30 procent in 2030) in de Nederlandse wet- en regelgeving zal helpen om de genoemde belemmeringen te doorbreken. Omdat biograndstoffen als reductieoptie op de lange termijn noodzakelijk lijken, is het zinvol dat bio-PET daarbij expliciet aandacht krijgt. Dat sluit aan bij het voornemen van het kabinet-Rutte IV om een nationale verplichting voor alle plasticproducenten in te voeren om de toepassing van gerecycleerd plastic of biogebaseerd plastic te stimuleren. Voor een effectieve werking van dergelijke minimumeisen is het van belang dat deze eisen gehandhaafd worden. Daarnaast is een aandachtspunt bij het stimuleren van bioplastics dat dit nadelige effecten voor biodiversiteit met zich kan brengen en dat de inzet van biograndstoffen kan concurreren met die voor voedsel.

In dit licht bezien zijn mogelijkheden voor aanvullend beleid onder andere het opleggen van ontwerpeisen aan verpakkingen gericht op het verminderen van de milieu-impact (ecodesign), en vooral het verlagen van de hoeveelheid PET door hergebruik te stimuleren. Langs deze lijnen zou een beleidsmix op termijn kunnen zorgen voor een klimaatneutrale PET-keten.

1 Inleiding

PET (polyethyleentereftalaat) is de meest gerecyclede kunststof, en de plastic fles is de meest gebruikte en bekende toepassing van PET. Het nut van dit type plastic is onomstreden, maar feit is ook dat de productie van PET bijdraagt aan de broeikasgasuitstoot en tot andere vormen van milieubelasting leidt, zoals zwerfafval. In deze verkennende studie ligt de focus op de uitstoot van broeikasgassen die ontstaat bij de productie, het gebruik en de (afval)verwerking van PET.

De Nederlandse overheid en de Europese Commissie voeren beleid om bedrijven en consumenten aan te zetten tot verduurzaming van de productie en het gebruik van plastics. Zo moeten vanaf 2025 in Europa geproduceerde PET-flessen voor minimaal 25 procent bestaan uit gerecycled materiaal (recycalaat). Sinds 1 juli 2021 kent Nederland een statiegeldsysteem voor kleine plastic flessen. Hoewel PET de meest gerecyclede plastic is, is er momenteel geen sprake van een klimaatneutrale PET-keten.

In deze verkennende studie gaan we in op de vraag in hoeverre de huidige beleidsinstrumenten de transitie naar een klimaatneutrale PET-keten bevorderen. Een emissiearme productieketen met een circulaire grondstofstroom kan immers een belangrijke bijdrage leveren in de transitie naar een klimaatneutrale economie. Hoewel het daarbij gaat om een internationale productieketen, ligt de focus hier op de productie, het gebruik en de verwerking in Nederland en het bijbehorende Nederlandse en Europese beleid. Onze analyse is gebaseerd op literatuuronderzoek en combineert een technische met een beleidsmatige invalshoek.

In dit rapport brengen we eerst de huidige productieketen in kaart, die hoofdzakelijk lineair verloopt: van inzet van fossiele grondstoffen tot aan verbranding van plastic in de afvalfase (hoofdstuk 2). Vervolgens bespreken we vier opties om de broeikasgasemissies in de PET-keten terug te dringen:

1. minder vraag naar PET-producten en schonere productie- en afvalverbrandingsprocessen;
2. hergebruik van producten;
3. meer recycling; en
4. gebruik van biograndstoffen in plaats van fossiele grondstoffen (hoofdstuk 3).

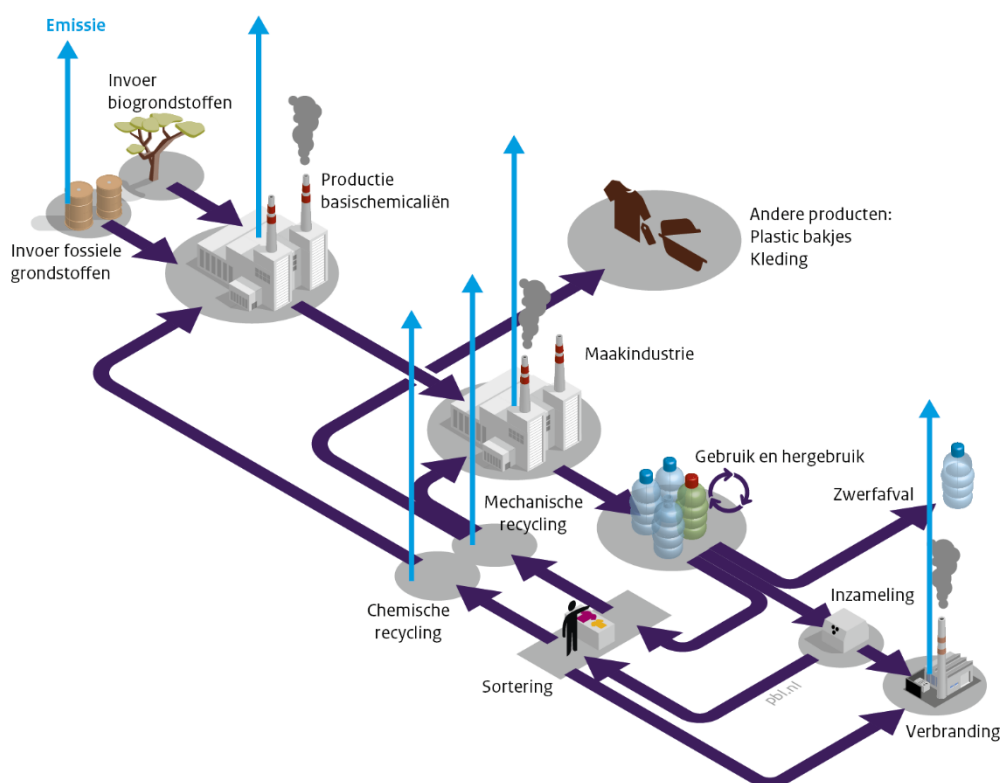
Daarna analyseren we de huidige beleidsinstrumenten die bedoeld zijn om bedrijven en consumenten aan te zetten tot verduurzaming (hoofdstuk 4) en verkennen we in hoeverre de genoemde opties al bijdragen aan emissiereductie in de PET-keten (hoofdstuk 5). Ten slotte gaan we na welke belemmeringen er zijn onder de huidige beleidsinstrumenten voor verdere emissiereductie (hoofdstuk 6).

We gaan in op de opties en beleidsinstrumenten voor het verlagen van de broeikasgasemissies in de PET-keten, maar buiten de reikwijdte van deze studie valt een evaluatie van de effectiviteit van die huidige of potentiële instrumenten. Ook heeft dit rapport niet als doel om volledige oplossingen te schetsen voor de klimaat- of grondstoffenproblematiek. Wel zullen de in de beleidsmix gevonden belemmeringen moeten worden opgelost om uiteindelijk te komen tot een klimaatneutrale PET-keten.

2 Beschrijving van de PET-keten

Als kunststof is PET zeer geschikt voor de verpakking van drank en voedsel, zoals de plastic fles. Voor deze verpakkingen gelden hoge kwaliteitseisen waarin PET kan voorzien. Van alle plastic verpakkingen die in 2015 in Nederland op de markt zijn gebracht, bestond ongeveer een kwart uit PET (Snijder & Nusselder 2019). Daarnaast komt PET als vezel ('polyester') ook veel voor in kleding. Figuur 1 geeft een overzicht van de PET-keten, oftewel de productieketen van PET, in de brede zin van het woord, die we hieronder verder toelichten.

Figuur 1
Productieketen van PET van fossiele en biograndstoffen tot verbranding en recycling



Bron: PBL

Productie van PET

In het productieproces van PET is aardolie de primaire input (linksboven in figuur 1). Wereldwijd komt ongeveer 4 tot 8 procent van de olieconsumptie terecht in kunststoffen, waarvan ongeveer 10 procent in PET (Verrips et al. 2017). De aardolie wordt in olieraffinaderijen verwerkt tot onder andere nafta. Bij het stoomkraken van de nafta ontstaan paraxyleen en etheen. Deze zogenoemde monomeren worden in een aantal vervolgstappen opgewerkt tot de stoffen tereftalaatzuur (PTA) en monoëthyleenglycol (MEG), waaruit vervolgens PET-korrels worden gemaakt (figuur 2). De uitkomst van dit lineaire productieproces uit aardolie, ook wel *virgin*-PET genoemd, noemen we fossiele PET.

Figuur 2
PTA en PET-korrels



Bron: Tran & West (2021), bewerking PBL. De foto links laat de basisstof PTA zien bij standaardcondities, de foto rechts PET-korrels bedoeld voor de productie van verpakkingen.

In tabel 1 staan de kerncijfers over de productie, import, export en verwerking van PET-korrels in Nederland. In Nederland is Indorama Rotterdam verreweg de grootste producent van PET. De PET-capaciteit van Indorama Rotterdam bedroeg in 2016 400 kiloton (Tran & West 2021), ongeveer 80 procent van de totale productiecapaciteit in Nederland. Net als die van andere kunststoffen stijgt de wereldwijde productie van PET al jaren sterker dan het mondiale bbp (Verrips et al. 2017).

Tabel 1
Kerncijfers over de productie van PET-korrels in Nederland

Product	Productie-capaciteit (kt/jaar)	Benutting capaciteit	Productie (kt/jaar)	Import (kt/jaar)	Export (kt/jaar)	Verwerkt tot product (kt/jaar)
PET-korrels	497	87%	434	30	303	157

Bron: ICIS (2021). De cijfers laten een gemiddelde waarde zien over de periode 2015-2019.

De chemische industrie opereert in een sterk geïnternationaliseerde markt. Nederland produceert dan ook veel PET-korrels voor het buitenland, zoals tabel 1 laat zien. Van de 464 kiloton PET-korrels geproduceerd en geïmporteerd, wordt 157 kiloton in Nederland verwerkt tot producten.

Naast producenten van PET-korrels zijn er andere belangrijke spelers in de keten: de maakindustrie die de PET-korrels en -vezels verwerkt tot producten, de producenten en consumenten die deze producten gebruiken, en de afvalverwerkers (rechtsonder in figuur 1). De afvalverwerking bestaat uit verschillende spelers, waaronder inzamelaars (van het huishoudafval voor gemeentes, al dan niet apart ingezameld), sorteerders, recyclers en afvalverbrandingsinstallaties. Een deel van de PET-producten komt als zwerfafval in het milieu terecht.

Toepassingen van PET

Tabel 2 geeft een overzicht van de toepassingen van PET in eindproducten in Europa. Ongeveer twee derde van de PET-korrels in Europa wordt gebruikt voor verpakkingen. Daarvan komt circa 71 procent terecht in plastic flessen en circa 20 procent in voedselverpakkingen. Een klein deel betreft elektrisch isolatiemateriaal (stekkers) in samengestelde producten, zoals auto's of huishoudelijke

apparaten. Het Europese gebruik van PET-vezels, oftewel polyester, is ongeveer de helft zo groot als dat voor verpakkingen. Tabel 2 is gebaseerd op cijfers van Eunomia (2022). Andere bronnen (ICIS 2021; PlasticsEurope 2021) geven een vergelijkbaar beeld.

Tabel 2
Gebruik van PET in Europa voor verschillende producten, 2021

Producttype	% PET totaal	% PET verpakking
Flessen	47%	71%
Etensbakjes	13%	20%
Folie	5%	7%
Elektrisch isolatiemateriaal	2%	3%
Totaal verpakkingen	67%	100%
Totaal vezels	33%	
Totaal PET	100%	

Bron: Eunomia (2022)

Net als PET-korrels worden PET-producten op grote schaal binnen Europa verhandeld. Er zijn geen specifieke cijfers voor de toepassing van PET in Nederland, maar omdat de verdeling van het PET-gebruik over producten vooral samenhangt met het consumptiepatroon, zal het beeld voor Nederland naar verwachting niet veel afwijken van het Europese beeld.

Nederlandse consumenten kopen jaarlijks in totaal ongeveer 1,5 miljard PET-flessen (Recycling Netwerk Benelux 2022). Uitgaande van een gewicht van 25 gram per fles (Bijleveld & Bergsma 2011), is dit 375 kiloton aan verkochte PET-flessen.

CO₂-emissies

De kunststofsector als geheel is momenteel verantwoordelijk voor ongeveer 5 procent van alle broeikasgassen (Stegmann et al. 2022). De productie en het gebruik van kunststof dragen daarnaast bij aan andere vormen van milieubelasting, zoals zwerfafval, beslag op biograndstoffen (en daarmee op land) en microplastics. Sommige maatregelen om broeikasgasemissies in de kunststofketen te verminderen helpen deze problemen tegelijkertijd aan te pakken. Als dat niet het geval is, zijn aanvullende maatregelen nodig om ook deze milieubelasting te verminderen. In deze studie beperken we ons tot de uitstoot van broeikasgassen die bij de productie, het gebruik en de verwerking van PET ontstaat en laten we andere milieueffecten buiten beschouwing.

De huidige PET-keten is niet klimaatneutraal: in bijna alle fasen in de keten komt CO₂ vrij (de blauwe pijlen in figuur 1). In totaal schatten we de uitstoot voor de gehele keten van grondstofwinning tot en met verbranding op 6,1 ton CO₂-equivalenten per ton PET (zie tabel 3).

De uitstoot binnen de PET-keten wordt voor een groot deel veroorzaakt door de productie van PET-korrels. Indorama Rotterdam stootte in 2021 189 kiloton CO₂ uit (Nederlandse Emissieautoriteit 2022), ongeveer 0,1 procent van de totale uitstoot in Nederland. Dit zijn alleen de directe emissies die ontstaan bij de productie van PET-korrels. De productie van een ton PET-korrels leidt tot een directe emissie van circa 0,6 ton CO₂ (Indorama 2021).

Op veel andere plekken in de keten ontstaan eveneens CO₂-emissies. Twee belangrijke bronnen van CO₂-emissie in de keten zijn het stoomkraken (circa 0,8 ton CO₂ per ton PET; linksboven in figuur 1) en verbranden (circa 2,3 ton CO₂ per ton PET; rechtsonder in figuur 1). Voor de gehele keten van oliewinning tot aan PET-korrels schat Ecoinvent de uitstoot op 2,9 ton CO₂-equivalenten per

ton PET (EEA ETC/WMGE 2021). Voor de conversie van korrels naar PET-producten komt daar nog 0,9 CO₂-equivalenten per ton PET bij. In tabel 3 laten we de besparing op emissies door energiete-rugwinning buiten beschouwing, om vervolgens (in tabel 4 in het volgende hoofdstuk) een goede vergelijking te kunnen maken tussen alle verschillende reductieopties.

Tabel 3
Uitstoot van broeikasgassen in de PET-keten

Productiestap	Uitstoot per ton PET	Bron
Gehele keten tot aan PET-korrels	2,9 ton CO ₂ -eq	EEA ETC/WMGE (2021)
<i>Waarvan stoomkraken</i>	0,8 ton CO ₂ -eq	Eerens & Van Dam (2022)
<i>Productie PTA en PET</i>	0,6 ton CO ₂ -eq	Indorama (2021)
Conversie van PET-korrels tot producten	0,9 ton CO ₂ -eq	EEA ETC/WMGE (2021)
Verbranden (geen energie-terugwinning)	2,3 ton CO ₂ -eq	De Leeuw & Koelemeijer (2022)
Totaal	6,1 ton CO₂-eq	

Een productieniveau van 434 kiloton PET-korrels in Nederland (tabel 1) leidt bij een emissiefactor van 6,1 (tabel 3) dus tot een totale uitstoot van 2,6 megaton CO₂-equivalenten. Voor deze schatting is een combinatie gemaakt van beschikbare, recente databronnen die niet allemaal betrekking hoeven te hebben op hetzelfde jaartal. De totale uitstoot in de keten vindt deels buiten Nederland plaats: bijvoorbeeld voorafgaand aan de import van grondstoffen, of bij de verbranding van PET-producten die naar het buitenland zijn geëxporteerd.

3 Opties voor een emissiearme PET-keten

In de lineaire route van de PET-keten doorloopt fossiele PET de fasen van productie, verwerking, gebruik, afval en verbranding. Omdat er in de hele keten forse hoeveelheden broeikasgassen worden uitgestoten, is het huidige lineaire productiemodel moeilijk te verenigen met een klimaatneutrale economie.

Er zijn grofweg vier manieren om de klimaatimpact van de PET-keten te verminderen. Ten eerste zal die impact afnemen als afnemers minder PET-producten kopen, of als de productie en verwerking van de huidige fossiele PET emissiearmer wordt, door bijvoorbeeld minder energie-intensieve processen te ontwikkelen (oftewel ‘decarboniseren’). In termen van circulariteitsstrategieën wordt dit ook wel aangeduid als het verkleinen van de kringloop (*narrow the loop*; zie bijvoorbeeld Brink & Prins 2022). Ten tweede is het mogelijk om producten langer in gebruik te houden, door hergebruik, waardoor de grondstofkringloop ‘vertraagt’ (*slow the loop*). Ten derde zou PET meer circulair gemaakt kunnen worden door fossiele PET als grondstof te vervangen door PET-recycalaat (*close the loop*). Ten vierde zou er een biogeen alternatief gebruikt kunnen worden voor de productie van PET (oftewel substitutie door hernieuwbare grondstoffen).

Eenvoudig gezegd bestaan de opties voor emissiereductie dus uit minder en schonere fossiele PET, hergebruik van PET-producten, gerecyclede PET (hierna aangeduid als r-PET), en groene bio-PET. Deze vier opties zijn elk op zichzelf geen panacee voor het verminderen van de klimaatimpact van de PET-keten: uiteindelijk is een combinatie van deze vier opties nodig om die keten klimaatneutraal te maken. We bespreken de vier reductieopties hierna in meer detail.

Minder en schonere fossiele PET

De uitstoot van broeikasgassen bij de productie en verbranding van PET neemt af als er minder PET-korrels worden geproduceerd. Het productievolume zal afnemen naarmate er minder vraag is naar PET-producten of als deze met minder materiaal worden geproduceerd. Bij deze optie gaat het vooral om de vraag of bepaalde typen PET-verpakkingen (bijvoorbeeld van apart verpakte producten) wel nodig zijn en of het gewicht van verpakkingen omlaag. Ook door het gebruik van alternatieve verpakkingsmaterialen, zoals karton, papier en glas, kan de vraag naar PET-korrels verminderen. Het gebruik van deze materialen is evenwel niet zonder meer beter voor het klimaat dan PET. Bovendien hebben deze materialen andere eigenschappen dan kunststof, waardoor ze niet voor alle typen dranken en voedsel geschikt zijn.

Het schoner maken van de productie van PET-korrels uit fossiele grondstoffen kan met name door energiebesparing en door fossiele energie te vervangen door hernieuwbare (Tran & West 2021). Indorama gebruikt momenteel in het productieproces aardgas, wat tot CO₂-emissies leidt. Door in plaats van aardgas gebruik te maken van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, groen gas of groene waterstof kunnen de CO₂-emissies worden verminderd. De energie-efficiëntie kan worden vergroot door bijvoorbeeld restwarmte in het productieproces terug te winnen. Een andere mogelijkheid om de uitstoot te verminderen is het opvangen van CO₂ na verbranding (*carbon capture and storage*, CCS; Tran & West 2021).

Hergebruik van PET-producten

Het hergebruiken van PET-producten levert in potentie een grote reductie op in de productie van PET-korrels en de daarmee samenhangende CO₂-emissies. Hergebruik is voor producenten mogelijk als de PET-producten onbeschadigd en op juiste wijze gebruikt zijn, apart worden ingezameld en gewassen kunnen worden. Naar het voorbeeld van glazen bierflesjes werden tot 2006 grote PET-flessen onder het statiegeldsysteem inderdaad ingezameld, gewassen en opnieuw gevuld (Bergsma et al. 2017). Momenteel worden ingezamelde PET-flessen vrijwel uitsluitend als materiaal gerecycled (zie r-PET).

Er kleven verschillende nadelen aan het hergebruiken van PET-flessen en uit de literatuur is onduidelijk of de voordelen van hergebruik bij PET opwegen tegen de nadelen. Zo raken PET-flessen snel beschadigd, waardoor ze niet opnieuw op de markt kunnen worden gebracht, en het wassen brengt hoge kosten met zich en is nadelig voor het milieu. Onderzoeken op basis van levenscyclusanalyse (LCA) laten uiteenlopende uitkomsten zien over de mogelijke broeikasgasreductie door hergebruik. Zo concludeert het IFEU (2008) dat herbruikbare PET-flessen ongeveer 50 procent minder broeikasgassen opleveren vergeleken met PET-flessen voor eenmalig gebruik. Bø et al. (2013) komen in de Noorse context echter uit op 18 procent méér CO₂-emissies bij herbruikbare PET-flessen. Belangrijke factoren in dergelijke analyses zijn aannames over het aantal keer dat PET-flessen hergebruikt kunnen worden (de schattingen lopen uiteen van 9 tot 25 keer) en de transportkosten van de lege flessen.

Recycling: r-PET

PET kan op verschillende manieren worden gerecycled: mechanisch, chemisch of met behulp van pyrolyse. Tabel 4 geeft een overzicht van de besparing van broeikasgassen voor enkele opties.

Mechanische recycling is het versnipperen en weer smelten van plastic, zonder dat de chemische structuur verandert. Dit is van oudsher de beproefde methode om PET te recyclen. Dit is mogelijk wanneer de materiaalstroom alleen uit PET bestaat en niet vervuild is met andere polymeren en additieven. Onder deze voorwaarden leidt mechanische recycling tot een besparing van 2,3 ton CO₂ per ton PET ten opzichte van fossiele PET (EEA ETC/WMGE 2021), omdat de eerste stappen van het productieproces kunnen worden vervangen door recycling. Bergsma en Broeren (2019) komen uit op een vergelijkbare besparing van 2,2 ton CO₂ per ton plastic afval ten opzichte van verbranding.

In theorie zijn er geen beperkingen aan het aantal keer dat gebruikt PET-materiaal kan worden gerecycled, mits er bij elke recyclebeurt nieuw materiaal aan wordt toegevoegd. Het toevoegen van nieuw materiaal (fossiele of bio-PET) is nodig om de kwaliteit te beschermen tegen de onvermijdelijke degradatie van PET-producten. In een laboratoriumexperiment van Pinter et al. (2021) bleken in Zweden ingezamelde PET-flessen op deze manier elf keer gerecycled te kunnen worden zonder kwaliteitsverlies. Hierbij werd binnen elke recyclingcyclus een nieuwe fles geproduceerd van 75 procent r-PET en 25 procent fossiele PET. Na tien van deze rondes is er op deze manier overigens nog 5,6 procent van het oorspronkelijke materiaal in de fles aanwezig. Deze resultaten wijzen erop dat herhaalde recycling mogelijk is voor ongemengde PET-stromen, maar dat daarbij wel instroom van fossiele of bio-PET nodig is.

Soms wordt PET gemengd met andere typen plastics om het product andere eigenschappen te geven, bijvoorbeeld door PET te mengen met polycarbonaat om het sterker te maken. Gemengde plastics kunnen niet mechanisch worden gerecycled, maar via chemische recycling kunnen de monomeren etheenoxide en paraxyleen worden teruggewonnen. Bij chemische recycling van PET blijft

het ‘plastic-naar-plasticrendement’ (de hoeveelheid nieuw plastic die uit een kilogram afgedankt plastic geproduceerd kan worden) ongeveer even hoog als bij mechanische recycling (Broeren et al. 2022).

Chemische recycling leidt echter tot minder CO₂-reductie dan mechanische recycling, aangezien het materiaal eerder in de keten opnieuw wordt ingezet (zie figuur 1) en er dus een extra productiestap nodig is (ongeveer 0,5 ton CO₂ per ton PET). Ook is in het recyclingproces meer energie nodig dan bij mechanische recycling. Bergsma en Broeren (2019) gaan uit van een besparing van ongeveer 1,5 ton CO₂ per ton plastic afval ten opzichte van verbranding.

Anders dan bij andere plastics is pyrolyse van PET geen volwaardig alternatief. Pyrolyse is het op hoge temperatuur verhitten van plastic afval zonder zuurstof, om er bijvoorbeeld nafta van te maken. Dat is bij PET niet goed mogelijk vanwege de zuurstofcomponent in PET. Wel is het mogelijk om gemengde plastics met een klein aandeel PET te pyrolyseren (Broeren et al. 2022).

Het terugwinnen van energie bij de verbranding van PET kan worden gezien als de meest basale vorm van recycling. Recycling in een eerder stadium valt meestal te prefereren, maar als PET toch wordt verbrand, is het goed dat energie wordt teruggewonnen, zoals in Nederland vrijwel altijd het geval is. Per ton plastic bespaart dit ongeveer 1,0 ton CO₂-emissies die gemiddeld in de Europese Unie zouden zijn ontstaan bij energieopwekking uit andere (fossiele) energiedragers (EEA ETC/WMGE 2021).

Tabel 4
Besparing van broeikasgassen voor enkele opties, tegenover fossiele productie met afvalverbranding

Optie	Reductie per ton PET	Bron
Aparte inzameling, sortering en mechanische recycling van PET	2,3 ton CO ₂ -eq	EEA ETC/WMGE (2021)
Mechanische recycling van PET	2,2 ton CO ₂ -eq	Bergsma & Broeren (2019)
Chemische recycling van PET (depolymerisatie)	1,5 ton CO ₂ -eq	Bergsma & Broeren (2019)
Energieterugwinning bij verbranding van PET	1,0 ton CO ₂ -eq	EEA ETC/WMGE (2021)
Productie bio-PET-korrels	1,7 ton CO ₂ -eq	EEA ETC/WMGE (2021)

Bio-PET

Als alternatief voor aardolie of aardgas in de productie van PET is het mogelijk biograndstoffen te gebruiken, oftewel grondstoffen die uit bomen en gewassen worden gehaald. Zo is het mogelijk om bioparaxyleen en bio-ethyleenglycol te maken uit suikerriet (in plaats van paraxyleen en etheenoxide uit nafta). Een voordeel van deze biograndstoffen is dat ze koolstof bevatten die kortcyclisch is, dat wil zeggen die daar minder dan een eeuw geleden in is opgeslagen tijdens de groei van bomen of planten. Dit in tegenstelling tot de koolstof in fossiele grondstoffen, die daar miljoenen jaren geleden in terecht is gekomen. Bij de CO₂-emissies van biograndstoffen wordt koolstof die tijdens de groei van de plant of boom is opgenomen (‘biogeen koolstof’) weer teruggebracht in de atmosfeer; om die reden worden deze emissies volgens internationale afspraken niet meegeteld als CO₂-emissies.

Een nadeel van bio-PET is dat er relatief veel energie nodig is om van biograndstoffen PET-korrels te maken, omdat dezelfde stappen van het productieproces moeten worden doorlopen als bij de productie van fossiele PET. Bovendien is er ook energie nodig bij het verbouwen, winnen en

transporteren van de planten en bomen. Mede daardoor leidt inzet van bio-PET op dit moment tot minder CO₂-reductie dan r-PET (Bergsma et al. 2022). Volgens het Europese Milieuagentschap (EEA) kost de productie van bio-PET-producten bij de huidige energiemix ongeveer 2,2 ton CO₂ per ton bio-PET, tegenover 3,9 ton CO₂ per ton fossiele PET: een besparing van 1,7 ton CO₂ (EEA ETC/WMGE 2021).

Bio-PET is chemisch identiek aan fossiele PET. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, is bio-PET niet composteerbaar, maar wel compatibel met het huidige recyclingsysteem: bio- en fossiele PET kunnen op dezelfde manier worden gescheiden en verwerkt. Er zijn geen aanvullende kosten om biogebaseerd PET te recyclen (Bergsma & Broeren 2020).

Naast bio-PET bestaan er ook alternatieven voor PET die wel langs biologische weg afbreekbaar zijn, zoals polyethyleenfuranoaat (PEF). Biologisch afbreekbare varianten van plastics zijn voor veel PET-producten echter minder interessant. De grootste milieuwinst van PEF-flessen ten opzichte van bio-PET zou zijn dat ze als zwerfafval in de natuur vanzelf afbreken. Dit ideaal is echter lastig te bereiken, omdat veel PET-producten juist sterk moeten zijn en niet 'op de plank' uit elkaar mogen vallen (EASAC 2020). Bovendien kan biologisch afbreekbaar plastic meestal niet verwerkt worden door composteerinstallaties voor gft-afval. Verder is het voor consumenten lastig om PEF te onderscheiden van PET, waardoor ze het niet op de juiste manier scheiden in de afvalfase. Als PEF tijdens de recycling bij de reguliere kunststoffen terecht komt, zou het zelfs als stoorstof in het verwerkingsproces kunnen werken. Binnen Nederland is biologisch afbreekbaar plastic vooral nuttig als de afbreekbaarheid functioneel is in het gebruik, zoals bij koffiefilters of bij stickers op bananen.

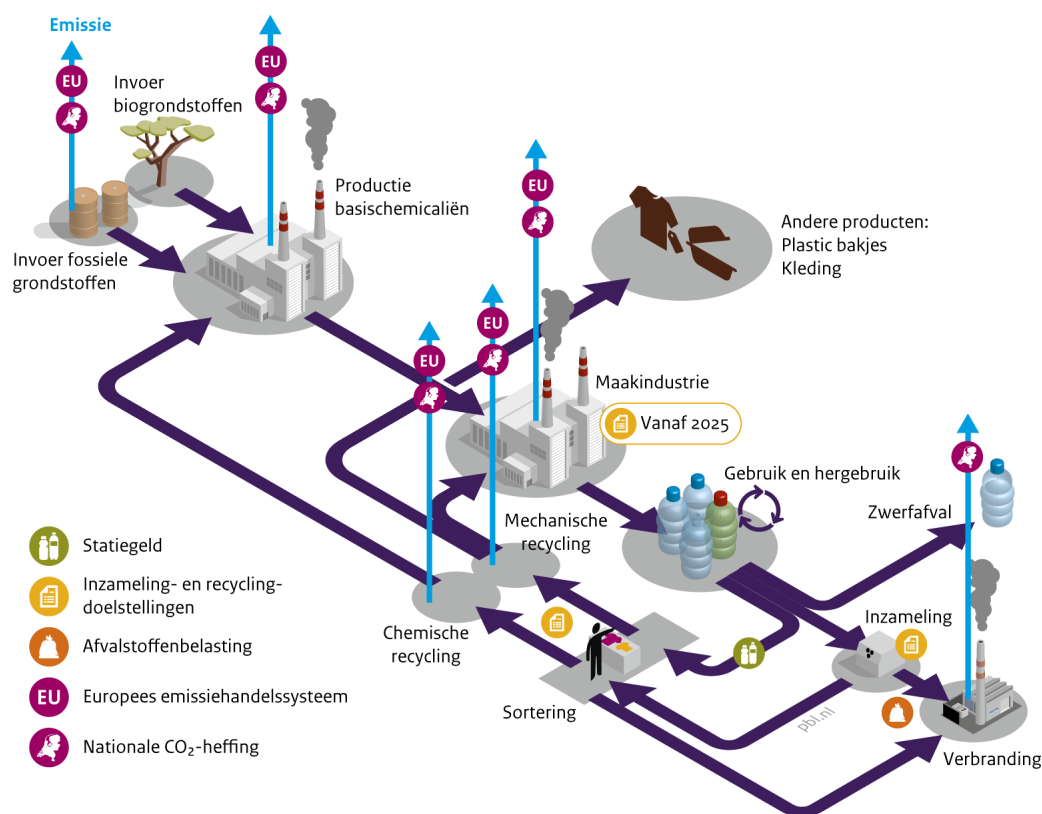
4 Huidige beleidsinstrumenten

De hiervoor beschreven opties om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen leiden in de meeste gevallen tot extra kosten en zullen daarom niet vanzelf op grote schaal gekozen worden. Daarom is beleid nodig om actoren in de keten tot actie aan te zetten. We behandelen in dit hoofdstuk de huidige beleidsinstrumenten die in Nederland het meest van invloed zijn op (de beslissingen van) actoren in de PET-keten: statiegeld, inzamelings-, recycling- en recyclaatdoelstellingen, de afvalstoffenbelasting, het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing.

Figuur 3 geeft aan waar deze beleidsinstrumenten aangrijpen in de PET-keten. Ze hebben gevolgen voor alle spelers in de PET-keten: de basischemie, de maakindustrie, de afvalverwerkingsbedrijven en de consumenten. In het vervolg bespreken we tot welke opties voor emissiereductie deze instrumenten kunnen aanzetten (dit hoofdstuk), waar dit op dit moment toe heeft geleid (hoofdstuk 5), en welke belemmeringen er nog over blijven (hoofdstuk 6).

Figuur 3

Huidige beleidsinstrumenten voor de emissiereductie van PET



Bron: PBL

Figuur 3 laat ook zien dat de huidige beleidsinstrumenten vooral gericht zijn op schonere (emissiearme) fossiele PET en r-PET, in minder mate op bio-PET, maar niet op een lager consumptievolume en hergebruik van PET-producten. Het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing zijn rechtstreeks gericht op de broeikasgasemissies, terwijl de andere instrumenten aangrijpen op materiaalstromen en circulariteit.

Statiegeld

Nederland hanteert al decennia een statiegeldsysteem voor grote kunststofflessen voor water of frisdrank van 1 tot 3 liter (sinds 2006 25 eurocent). Deze vorm van statiegeld bestaat al sinds de ingebruikname van plastic flessen en bedroeg voor de invoering van de euro 1,00 gulden (de Volkskrant 2001). Sinds 1 juli 2021 geldt er ook statiegeld (15 eurocent) op plastic flessen tot 1 liter. Plastic flessen voor zuivel, sap of siroop zijn uitgezonderd van de regeling, omdat deze vaak voorzien zijn van een extra laag niet-PET.

Statiegeld stimuleert in de eerste plaats de consumenten van plastic flessen. Het zet hen ertoe aan om de flessen na gebruik weer in te leveren. Omdat de detailhandel de statiegeldflessen weer moet terugnemen, krijgt ook die een grote rol in de afvalinzameling. De detailhandel bepaalt hoe gemakkelijk het is voor consumenten om flessen in te leveren. Een statiegeldsysteem is bovenal gericht op het tegengaan van zwerfafval (Dimitropoulos et al. 2021). Omdat geretourneerde PET-flessen gerecycled kunnen worden, zal statiegeld ook bijdragen aan het terugdringen van broeikasgassen, maar hoeveel is nog niet onderzocht.

Andere PET-producten dan flessen, zoals etensbakjes of polyester kleding, kennen geen statiegeld. Aan het einde van hun levenscyclus belanden verpakkingen in veel gevallen in het PMD-afval (plastic, metaal en drankkartons). De meeste gemeenten in Nederland zamelen PMD-afval apart in, hoewel Amsterdam, Rotterdam, Utrecht en Leiden recentelijk zijn overgestapt op nascheiding (gemeente.nu 2022).

Inzamelings-, recycling- en recycelaatdoelstellingen

De Rijksoverheid legt wettelijk bindende minimumpercentages op van het aantal verkochte producten dat producenten en importeurs dienen in te zamelen en te recyclen (zie tabel 5). Van de in Nederland in de handel gebrachte flessen, doppen en deksels dient ten minste 90 procent van het totale gewicht gescheiden te worden ingezameld. Van het totale gewicht aan kunststof in alle verpakkingen die in Nederland op de markt worden gebracht, dient in 2023 ten minste 44 procent te worden gerecycled, oplopend tot 55 procent in 2030. Deze regels zijn een invulling van de Europese Verpakkingsrichtlijn (Europees Parlement & Raad van de Europese Unie 1994; 2018), waarbij Nederland heeft gekozen voor een 90-procentnorm voor gescheiden inzameling van plastic flessen (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat 2020). De recyclingdoelstellingen van 50 procent in 2025 en 55 procent voor alle kunststofverpakkingen in 2030 volgen rechtstreeks uit de Europese richtlijn.

Tabel 5

Verplichte minimumpercentages voor inzameling, recycling en recycelaat in Nederland

Verplichting voor	2021	2022	2023	2024	2025	2030
Aparte inzameling kunststof flessen	–	90%	90%	90%	90%	90%
Recycling kunststof verpakkingen	40%	42%	44%	47%	50%	55%
Aandeel recycelaat PET-flessen	–	–	–	–	25%	30%

Bron: Besluit beheer verpakkingen 2014 (2022). De percentages hebben betrekking op het gewicht van door een producent of importeur in Nederland in de handel gebrachte verpakkingen.

Net als statiegeld vallen de inzamelings- en recyclingdoelstellingen onder de Uitgebreide Productenverantwoordelijkheid, een vorm van beleid die producenten verantwoordelijk maakt voor

wat er na het gebruik door consumenten met hun producten gebeurt (Dimitropoulos et al. 2021). De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) handhaaft de verplichtingen en kan boetes opleggen indien producenten hun verplichtingen niet nakomen. In beginsel geldt de verantwoordelijkheid voor elke producent of importeur individueel, volgens artikel 6 van het Besluit beheer verpakkingen 2014 (2022). Toch gelden de percentages in tabel 5 voor alle in de handel gebrachte verpakkingen samen, omdat producenten – volgens artikel 6 van het Besluit regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (2023) – gezamenlijk uitvoering geven aan de verplichtingen. De uitvoering is formeel ondergebracht in een producentenverantwoordelijkheidsorganisatie, en producenten mogen in grote mate zelf bepalen met welke middelen ze deze doelstellingen behalen.

De producenten van verpakkingen betalen de kosten die worden gemaakt voor het beheer van verpakkingafval om te voldoen aan deze wettelijke verplichtingen in de vorm van afvalbeheerbijdragen. Het Afvalfonds Verpakkingen stelt deze bijdragen vast en verzamelt en verdeelt ze. De tarieven voor de afvalbeheerbijdrage zijn gebaseerd op de kosten per materiaalsoort om aan de eisen te voldoen: de nettokosten voor afvalinzameling en -verwerking minus de opbrengsten plus de systeemkosten voor bijvoorbeeld monitoring en preventie van zwerfafval. Het reguliere tarief voor plastic bedraagt in 2023 1,05 euro per kilogram (Afvalfonds Verpakkingen 2023d). Bepaalde plastic verpakkingen die goed te sorteren en te recyclen zijn, waaronder bepaalde PET-verpakkingen, komen in aanmerking voor een lager tarief van 0,79 euro per kilogram. Het Afvalfonds Verpakkingen stelt hieraan een aantal voorwaarden en beoordeelt per individueel geval of de verpakking voldoende recyclebaar is. Voor plastic flessen die onder het statiegeldsysteem vallen gelden andere afvalbeheerbijdragen, van 0,0263 euro per fles (dus bijna 3 eurocent; naast het statiegeld van 15 eurocent per fles), en hier geldt geen differentiatie naar type plastic (Afvalfonds Verpakkingen 2023c).

Een laatste verplichte doelstelling volgt uit de Europese richtlijn voor *Single Use Plastics* (SUP), oftewel kunststof voor eenmalig gebruik (Europees Parlement & Raad van de Europese Unie 2019). In 2025 zal een Europese eis gelden dat PET-flessen voor ten minste 25 procent uit recycleaat moeten bestaan. Dit percentage loopt op tot 30 procent in 2030. Vanaf 2030 zal de verplichting ook gaan gelden voor flessen van andere kunststoffen dan PET. In Nederland is nog niet uitgewerkt hoe de verantwoordelijkheid voor deze verplichting in de keten precies komt te liggen (Bergsma et al. 2022). De huidige regelgeving laat de mogelijkheid van een collectieve invulling open: '[p]roducenten of importeurs kunnen gezamenlijk uitvoering geven aan de verplichtingen [...] waarbij de percentages [van 25% in 2025 en 30% in 2030] worden berekend als gemiddelde van alle drankflessen' (artikel 15c, lid 7 van het Besluit beheer verpakkingen 2014 (2022)).

Afvalstoffenbelasting

Bedrijven in Nederland met een afvalverbrandingsinstallatie of stortplaats betalen over elke ton afval die wordt verbrand of gestort afvalstoffenbelasting. Met de heffing wil de overheid stimuleren dat er minder afval wordt gegenereerd en dat grondstoffen worden hergebruikt. Voor afval dat wordt gerecycled hoeft dan ook geen afvalstoffenbelasting te worden betaald.

De afvalstoffenbelasting geldt ook voor bedrijven die afvalstoffen naar het buitenland transporteren om ze daar te laten storten of verbranden. Het uitgangspunt is daarbij dat al het in Nederland ontstane afval hetzelfde wordt belast. Het maakt daarbij niet uit of de verwerking binnen of buiten Nederland plaatsvindt. Het tarief van de afvalstoffenbelasting wordt vastgesteld in de Wet belastingen op milieugrondslag en bedroeg in 2022 33,58 euro per ton (Staatscourant 2022).

Het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing

Het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS) beprijsd de directe CO₂-uitstoot van een groot deel van de industrie en elektriciteitsopwekking. De gehele chemische industrie valt onder dat systeem, dus ook producenten van PET. Afvalverbrandingsinstallaties vallen niet onder het Europese emissiehandelssysteem, en ook bedrijven die relatief weinig uitstoten, zoals bedrijven die PET-korrels omzetten in producten, vallen daar niet onder.

Binnen het Europese emissiehandelssysteem wordt dagelijks in CO₂-rechten gehandeld. De CO₂-prijs is daarom elke dag anders (Vollebergh et al. 2021). Bedrijven die onder dit systeem vallen, dienen na afloop van het boekjaar een evenredig aantal certificaten te overleggen voor elke ton CO₂ die ze in dat jaar zelf hebben uitgestoten. De energie-intensieve industrie krijgt de rechten grotendeels gratis toegewezen, afhankelijk van hoe efficiënt het productieproces is ten opzichte van andere Europese producenten. Energie-intensieve bedrijven moeten rechten bijkopen als zij meer uitstoten dan deze norm, en kunnen rechten verkopen als ze minder uitstoten. Door de plannen van de Europese Commissie voor een snellere vermindering van het aanbod van emissierechten is de prijs van CO₂-rechten sinds 2020 verdrievoudigd tot meer dan 80 euro per ton in 2022 (Trading Economics 2022).

In aanvulling op het Europese emissiehandelssysteem heeft Nederland sinds 1 januari 2021 een nationale CO₂-heffing ingevoerd die een groot deel van de broeikasgasemissies door de Nederlandse industrie extra beprijsd. Deze heffing geldt voor bedrijven die onder het emissiehandelssysteem vallen, maar ook voor afvalverbrandingsinstallaties. De CO₂-uitstoot door afvalverbranding, waarbij het aandeel biogeen koolstof niet meetelt, krijgt zo in Nederland direct een prijs.

Het tarief van de nationale CO₂-heffing begon in 2021 op een niveau van 30,48 euro per ton CO₂ en neemt jaarlijks met 10,87 euro toe, tot een niveau van ongeveer 125 euro per ton CO₂ in 2030. De nationale CO₂-heffing hoeft alleen te worden betaald over emissies boven een bepaalde norm. Deze norm wordt jaarlijks aangescherpt. Voor bedrijven die onder het Europese emissiehandelssysteem vallen, wordt voor elk jaar een termijnkoers vastgesteld op basis van de Europese CO₂-prijs in een bepaalde periode, en die wordt in mindering gebracht op het tarief van de nationale CO₂-heffing. Die heffing leidt voor deze bedrijven dus alleen tot extra beprijzing als het tarief boven deze vastgestelde Europese termijnkoers zal liggen. Voor 2022 is de termijnkoers vastgesteld op 60,78 euro per ton CO₂ (Staatscourant 2021). Omdat dit hoger is dan het heffingstarief in 2022, is het tarief van de nationale CO₂-heffing voor bedrijven die onder het Europese emissiehandelssysteem vallen dus nul, maar voor andere bedrijven bedraagt de heffing 41,75 euro per ton CO₂.

Het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing grijpen aan op bedrijven in de PET-keten die CO₂ uitstoten. Met name processen die zeer vervuילend zijn in termen van CO₂-uitstoot, zoals het kraken van fossiele grondstoffen, krijgen hierdoor een hogere prijs, waarmee bedrijven ertoe worden aangezet hun uitstoot te verminderen.

Andere beleidsinstrumenten

Andere beleidsinstrumenten dan hiervoor behandeld hebben veelal een minder directe invloed op actoren in de PET-keten om emissies te reduceren. Te denken valt aan de energiebelasting die het verbruik van elektriciteit en aardgas beprijsd, en daarmee impliciet broeikasgasemissies (Vollebergh et al. 2021). Ook is er een groot aantal subsidieregelingen die de toepassing van schonere productieprocessen stimuleren, zoals de Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++), de Energie-investeringsaftrek (EIA), de Milieu-investeringsaftrek (MIA) en/of Willekeurige

afschrijving milieu-investeringen (Vamil) en de subsidie Versnelde klimaatinvesteringen industrie (VEKI). Andere subsidieregelingen zijn gericht op onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van innovatieve productieprocessen, waaronder subsidie in het kader van de Wet Bevordering Speur- & Ontwikkelingswerk (WBSO) en de Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+), soms ook met een specifiek budget voor innovatieprojecten betreffende recycling of biograndstoffen.

Het beleid kan ook eisen stellen aan het ontwerp van producten gericht op het verminderen van milieu-impact (ecodesign). Via Circulair Inkopen draagt de overheid bij aan het verminderen van de eigen vraag naar plastic. Ten slotte gelden er specifieke verboden voor plastic producten, zoals het verstrekken van gratis plastic tasje (sinds 1 januari 2016) of bepaalde verpakkingen voor eenmalig gebruik (onder de Europese SUP-richtlijn). In het bijzonder mogen vanaf 1 juli 2023 wegwerpvoedselverpakkingen van plastic of met een plastic bestanddeel (zoals coating) niet meer gratis worden verstrekt.

5 Voortgang in reductieopties voor PET

In dit hoofdstuk bespreken we in hoeverre opties om de emissiereductie in de PET-keten te bevorderen al in de praktijk worden toegepast. Hoe is het inmiddels gesteld met de volumevermindering, de mechanische en chemische recycling en het gebruik van biograndstoffen in de PET-keten? We laten daarbij buiten beschouwing in welke mate de eventuele vorderingen zijn beïnvloed door de in het vorige hoofdstuk besproken beleidsinstrumenten.

Geen vermindering van de hoeveelheid PET

De hoeveelheid gebruikte PET in verpakkingen vertoont een stijgende trend. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door de toename van PET-verpakkingen met kleinere porties voedsel of drank (Coelho et al. 2020). Per massa-eenheid product is hiervoor meer plastic nodig. Voor een gegeven portie is er wel een trend om minder PET-korrels te gebruiken (Tran & West 2021).

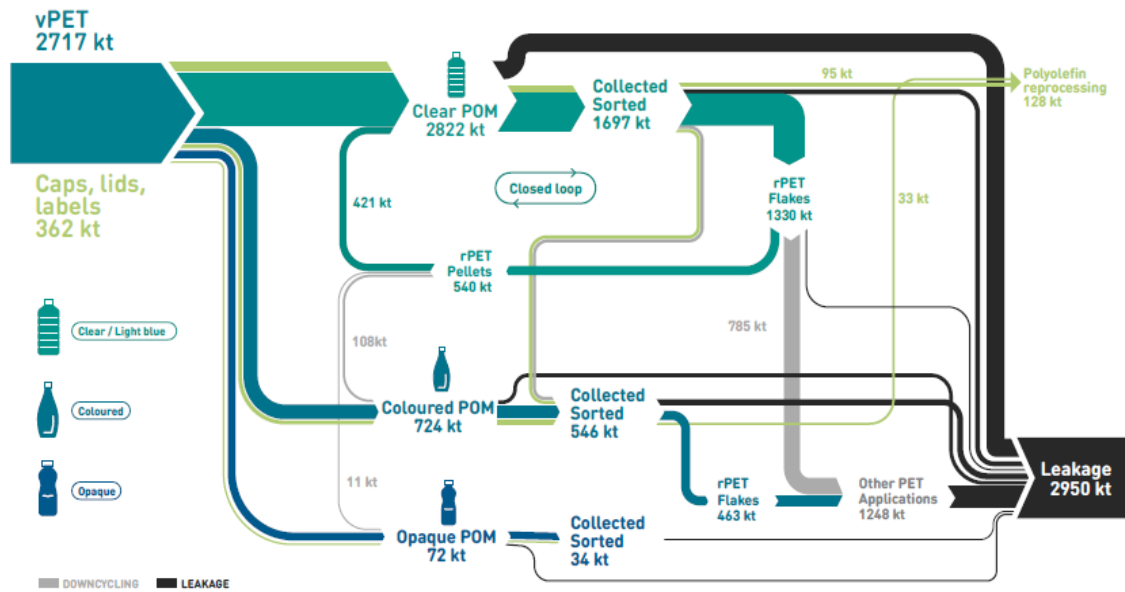
Er vindt momenteel geen hergebruik plaats van PET-producten die bij de detailhandel, als PMD-afval of anderszins zijn ingeleverd. De PET-fles bijvoorbeeld wordt niet hergebruikt als product, alleen gerecycled. Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven, is de inzameling onder het statiegeldsysteem niet gericht op hergebruik van de PET-flessen. Voor producenten zijn de kosten van het opnieuw voor gebruik geschikt maken van afgedankte PET-verpakkingen namelijk veelal hoger dan het opnieuw produceren. Hergebruik komt wel voor bij samengestelde producten met onderdelen van PET, zoals tweedehandsauto's, maar slechts een klein deel van de PET die wordt geproduceerd komt daarin terecht (Baldassare et al. 2022).

Consumenten kunnen ook zelf PET-producten opnieuw gebruiken, en dat gebeurt op dit moment al bij verpakkingen. PET is hiervoor vanwege zijn flexibele eigenschappen niet het meest geschikt. Zo is PET gevoelig voor degradatie bij hoge temperaturen, bijvoorbeeld bij het te heet afwassen van een fles, waarbij ook gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen. Daardoor is grootschalig hergebruik voor PET-producten niet de aangewezen route, en kunnen producten voor hergebruik beter gemaakt worden van een ander type plastic, zoals polyetheen (PE) of bio-PE.

Mechanische recycling: veel inzameling maakt nog geen circulaire keten

Het merendeel van de ingezamelde PET-flessen wordt mechanisch gerecycled. Van de PET-flessen die op de Europese markt worden gebracht, wordt 60 procent ingezameld, en 50 procent gerecycled (Eunomia 2022). Het inzamelingspercentage hangt uiteraard sterk af van het inzamelsysteem, dat verschilt tussen Europese landen. Een statiegeldsysteem draagt bij aan een hoge mate van inzameling. Duitsland bijvoorbeeld, waar al langer een statiegeldsysteem geldt, haalt een inzamelingspercentage van 98 procent (GVM 2020), en ook in Scandinavische landen zijn de aandelen hoog. Waar er voor Nederland tot 2023 geen gegevens bekend waren (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat 2022), wijst de eerste rapportage op een inzamelingspercentage van plastic flessen van 68 procent (Afvalfonds Verpakkingen 2023a).

Figuur 4
Circulariteit van PET-flessen in Europa



Bron: Eunomia (2022)

NB: POM = 'placed on market', op de markt gebrachte flessen.

In Europa bestaan PET-flessen momenteel voor 17 procent uit recycklaat (Eunomia 2022). Het aandeel recycklaat ligt dus nog onder de eis van 25 procent die in 2025 zal gaan gelden. In Duitsland bevat een PET-fles gemiddeld 34 procent recycklaat (GVM 2020). Voor Nederland wordt niet bijgehouden hoe hoog het aandeel recycklaat is. Wat betreft de totale productie van PET-korrels (niet alleen flessen) omvatte de PET-recycling in Nederland tussen 2015 en 2019 ongeveer 7 procent van de productieomvang (ICIS 2021).

Binnen de recycling van plastic flessen is er veel sprake van downcycling (de grijze stromen in figuur 4), waarbij het materiaal stroomt richting flessen van lagere kwaliteit of naar laagwaardigere productcategorieën zoals etensbakjes. Als gekleurde PET-flessen worden gerecycled, blijft deze kleur in het gerecyclede materiaal achter. Daardoor is het lastig tot onmogelijk om doorzichtige of lichtblauwe flessen te maken van r-PET. Eunomia (2022) schat dat momenteel 78 procent van de flessen doorzichtig of lichtblauw zijn, en de rest gekleurd of ondoorzichtig. Naarmate er meer kleuring in de PET-flessen aanwezig is, wat voornamelijk gebeurt om marketingredenen, nemen de toepassingsmogelijkheden van gerecycled materiaal af.

Private initiatieven van grote merken laten zien dat op productniveau een hoger aandeel recycklaat mogelijk is. Zo introduceerde Coca Cola in 2009 zijn PlantBottle-technologie, de eerste volledig recyclebare PET-fles, gedeeltelijk van bio-PET. Rond 2015 omvatte PlantBottle echter slechts 7 procent van het verpakkingsvolume van Coca Cola, waarmee volgens eigen zeggen 315 kiloton aan CO₂-emissies werd bespaard (Bauer et al. 2018). En Nivea bijvoorbeeld stelt dat het in 2025 30 procent gerecycled materiaal in zijn plastic verpakkingen wil gebruiken. Het is onduidelijk hoe hoog dit percentage nu is voor het gehele assortiment, maar sommige verpakkingen van Nivea-producten bestaan voor 97 procent uit gerecycled materiaal. De resterende 3 procent nodig is om de flessen te kleuren (Nivea 2022). Ook andere grote merken hebben beloftes gedaan om in de toekomst meer PET-recycklaat te gebruiken, zoals Adidas, IKEA en Nestlé (Kahlert & Bening 2022). Bauer et al. (2018) betwijfelen of dergelijke initiatieven en beloftes van marktpartijen zullen leiden tot structurele productieverandering. De opgewaardeerde producten dragen bij aan een duurzaam profiel, maar

geven geen goed beeld van het hele assortiment en maskeren het gemiddeld veel lagere niveau van circulariteit (Eunomia 2022). Alle private toezeggingen voor het gebruik van r-PET in Europa bij elkaar opgeteld leiden tot een totaal geclaimd volume van 2.066 kiloton in 2025 (Kahlert & Bening 2022). Dit is een stijging van meer dan 50 procent ten opzichte van de productie van r-PET in 2018 en ook meer dan nodig is om een aandeel van 25 procent recycalaat te halen (1.709 kiloton). Waar private toezeggingen in het verleden vaak niet zijn waargemaakt, beoordelen Kahlert & Bening (2022) deze versnelling als niet haalbaar, zelfs niet bij een EU-brede invoering van een statiegeldstelsel.

Omdat r-PET vooralsnog significant duurder is dan fossiele PET en recycalaat bovendien nog onvoldoende beschikbaar komt, is er nog geen sprake van een structurele verandering naar een volledig circulaire PET-keten. Tot 2022 liepen de prijzen voor fossiele PET en r-PET ongeveer gelijk op, maar waar fossiele PET met het dalen van de olieprijs goedkoper werd, is de prijs van r-PET op een hoger niveau gebleven, lang rond de 1.800 euro per ton (Kunststof&Rubber 2023).

Eunomia (2022) schat dat het aandeel recycalaat bij PET-flessen op termijn kan toenemen naar een maximale bovengrens van 75 procent. Deze bovengrens gaat uit van een inzamelingspercentage van 97 procent via een statiegeldstelsel (het percentage dat momenteel in Duitsland wordt behaald). Daarnaast zou hiervoor 91 procent van de ondoorzichtig en gekleurde flessen door doorzichtig PET vervangen moeten worden. Deze berekening toont aan dat het aandeel recycalaat in de toekomst aanzienlijk hoger kan worden dan de huidige eisen (30 procent in 2030). Volgens Bergsma et al. (2022) is een ambitie van 40 procent recycalaat over *alle* kunststoffen in 2030 (Ministerie van IenW & Ministerie van EZK 2018) praktisch onhaalbaar, omdat dan meer dan 90 procent van het plastic afval apart gehouden zou moeten worden voor sortering en recycling.

Chemische recycling ontwikkelt zich tot oplossing voor ongesorteerd PET

In Europa is chemische depolymerisatie, als aanvullende optie voor gemengde plastics, nog een markt in ontwikkeling. De huidige proefopstellingen zijn nog altijd gericht op materiaal uit PET-flessen, die juist al gebruikt worden voor mechanische recycling (Eunomia 2022). Depolymerisatie van PET, een relatief efficiënte vorm van chemische recycling, zal naar verwachting na verdere schaalvergroting ongeveer evenveel kosten als ze bespaart aan kosten in de productie van fossiele PET en bij afvalverbranding. Deze techniek zal dus waarschijnlijk op korte termijn, naast mechanische recycling, een rol gaan spelen voor gemengd plastic afval (Bergsma et al. 2022).

Biograndstoffen tot nu toe nog weinig ingezet

Momenteel is van alle kunststoffen ongeveer 1 procent biogebaseerd (Bergsma et al. 2022). Bio-PET wordt in Nederland ingezet als alternatief voor fossiele PET in de verpakkingenmarkt; het composteerbare polyethyleenfuranoaat (PEF) wordt op dit moment nog niet gebruikt. Wereldwijd was bio-PET in 2017 de meest verspreide vorm van bio-plastics, met een aandeel van 26 procent in het nog beperkte totaal van 2 megaton aan bio-plastics (Bergsma & Broeren 2020).

In de *Transitieagenda Kunststoffen* is voor 2030 voor kunststoffen een aandeel van 15 procent biograndstoffen als doel gesteld (Ministerie van IenW & Ministerie van EZK 2018). Daarnaast bevat de *Voorjaarsbesluitvorming Klimaat* het voornemen om plasticproducenten te verplichten gebruik te maken van 25 à 30 procent plastic recycalaat of biogebaseerd plastic (Minister voor Klimaat en Energie 2023). Voor bio-PET wordt dus een plaats voorzien in een klimaatneutrale productieketen.

6 Belemmeringen voor emissiereductie

De emissiereductie in de PET-keten manifesteert zich momenteel vooral in de afval- en productiefase, waar vorderingen worden gemaakt in het maken van emissiearme fossiele PET en r-PET. De toepassing van bio-PET staat daarentegen nog aan het begin, en van een vermindering van de hoeveelheid gebruikte PET in verpakkingen lijkt nog geen sprake. In hoofdstuk 4 hebben we laten zien dat huidige beleidsinstrumenten op verschillende plekken in de PET-keten aanzetten tot emissiereductie. Uit hoofdstuk 5 blijkt dat er weliswaar sprake is van een toename van inzameling en recycling, maar dat een klimaatneutrale PET-keten zeker nog niet in zicht is. Welke belemmeringen spelen hierbij een rol?

Maakindustrie houdt onvoldoende rekening met emissies elders in de keten

De maakindustrie is als leverancier van eindproducten aan consumenten de schakel in de PET-keten die de relevante beslissingen over het productontwerp neemt. Kennelijk zijn er onvoldoende prikkels voor de maakindustrie om keuzes te maken die de klimaatschade over de hele keten, inclusief de afvalfase, beperken. Bij PET-flessen gaat het in het bijzonder om de frisdrankproducenten, die de eigenschappen van de verpakking bepalen. Daarbij kunnen prijsprikkels vanuit beleid een belangrijke rol spelen, juist omdat de keuze tussen fossiele PET, r-PET of bio-PET vooral afhangt van de kosten. Weliswaar geeft het huidige beleid op verschillende plekken in de keten prikkels die aanzetten tot een vermindering van CO₂-emissies, maar die worden niet allemaal in voldoende mate doorgegeven in de keten en zijn bovendien mogelijk nog niet sterk genoeg om de keten klimaatneutraal te maken.

Zo beprijsen het Europese emissiehandelssysteem en de nationale CO₂-heffing de emissies tijdens de productie van basischemicaliën en PET-korrels en bij de opwekking van de gebruikte elektriciteit. Deze kosten zullen (deels) worden doorberekend aan de afnemers (zie bijvoorbeeld De Bruyn et al. 2016). Daardoor wordt fossiele PET duurder en dat geeft de frisdrankproducent een prikkel om het gebruik van fossiele PET te verminderen. Bij een voldoende grote prijsstijging van fossiele PET kan r-PET of bio-PET een aantrekkelijk alternatief worden. Op dit moment is echter de relatief lage prijs van fossiele grondstoffen in hoge mate bepalend voor de keuzes die bij de productie worden gemaakt. Tot nu toe wordt de atschade van fossiele PET door het bestaande overheidsbeleid onvoldoende in rekening gebracht (zie ook Vollebergh et al. 2017; 2021). Daardoor is grootschalige inzet van recycalaat vooralsnog duurder dan het gebruik van fossiele PET en dat belemmert een significante toename van het aandeel recycalaat.

Daar komt bij dat de emissies die ontstaan bij verbranding van PET-flessen in afvalverbrandingsinstallaties wel worden beprijsd door de nationale CO₂-heffing en de afvalstoffenbelasting, maar dat deze kosten niet worden doorberekend aan de maakindustrie. Huishoudens dragen via de afvalstoffenheffing en reinigingsrechten bij aan de kosten die gemeenten maken voor de inzameling en verwerking van hun afval. In een toenemend aantal gemeenten is de hoogte van de afvalstoffenheffing afhankelijk van het afvalaanbod van huishoudens (Vollebergh et al. 2021), maar ook dan blijft de link tussen de aankoopbeslissing en de kosten van verwerking van het verpakkingsafval heel indirect. Wel brengt het statiegeldsysteem voor PET-flessen de kosten voor de afvalfase heel

direct bij de consument in rekening en geeft statiegeld consumenten een sterke prikkel om PET-flessen te retourneren zodat ze kunnen worden gerecycled.

Om te voldoen aan de collectieve verplichtingen uit de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid (UPV) dragen frisdrankproducenten via een afvalbeheerbijdrage bij aan de kosten van de inzameling en recycling van flessen. Voor deze afvalbeheerbijdrage geldt een tarief per kilogram materiaal, wat een prikkel geeft om minder materiaal te gebruiken in verpakkingen. Maar omdat daarbij geen onderscheid wordt gemaakt tussen fossiel, gerecycled en biogebaseerd plastic, of tussen flessen van homogene en gemengde plastics, stimuleert de afvalbeheerbijdrage frisdrankproducenten niet om flessen van ander materiaal te maken. Het Afvalfonds Verpakkingen (2023b) heeft aangegeven vanaf 2024 een lager tarief te willen introduceren voor verpakkingen gemaakt van gerecycled plastic, wat het gebruik van gerecycled plastic in verpakkingen zal stimuleren.

De verplichte inzamelings- en recyclingdoelstellingen onder de UPV leiden er dus wel toe dat frisdrankproducenten de kosten voor afvalinzameling en -verwerking in hun keuzes meenemen, maar door het ontbreken van tariefdifferentiatie worden ze er niet direct toe aangezet om meer r-PET te gebruiken. Wel kan het statiegeldsysteem bijdragen aan meer recycling, omdat het resulteert in een grotere beschikbaarheid en daarmee een lagere prijs van recyclaat. Een verplicht aandeel recyclaat zoals dat vanaf 2025 in Europa zal gaan gelden voor PET-flessen, geeft frisdrankproducenten een directe prikkel om het recyclaat daadwerkelijk te gaan gebruiken bij de productie van flessen.

Het gebrek aan prijsprikkel speelt in het bijzonder voor bio-PET. Bio-PET is net als r-PET veel duurder dan fossiele PET en dat prijsverschil wordt onvoldoende verminderd door bestaande beleidsinstrumenten (Elzinga et al. 2021). De afvalstoffenbelasting maakt geen onderscheid tussen verschillende soorten afval. Wel hoeven afvalverbrandingsinstallaties geen nationale CO₂-heffing te betalen voor biogeen koolstof die wordt verbrand, omdat die immers kort-cyclisch is. Het is echter niet terug te leiden uit welk afval de biogene koolstof komt, zodat de afvalverbrandingsinstallaties deze CO₂-besparing niet direct door kunnen rekenen aan hun klanten. Als een afvalverbrandingsinstallatie door een toenemend aandeel bio-PET in het afval minder CO₂-heffing zou hoeven te betalen, hoeft die minder kosten door te berekenen aan de gemeenten waar het afval vandaan komt en zou dat tot een lagere afvalstoffenheffing kunnen leiden voor alle huishoudens in die gemeenten. Maar daarbij kan er geen onderscheid worden gemaakt tussen huishoudens die bio-PET-flessen in hun afval hebben en huishoudens die daar fossiele PET-flessen in hebben. De korting op de CO₂-heffing geeft zo een kostenvoordeel voor afvalverbrandingsinstallaties, maar leidt niet tot een prijsprikkel voor consumenten om frisdrank in bio-PET-flessen te kopen. Voor de maakindustrie geeft de CO₂-heffing bij afvalverbranding al helemaal geen prikkel in de vorm van een prijsvoordeel bij gebruik van bio-PET. Zolang er in de tarieven van de afvalbeheerbijdrage geen onderscheid wordt gemaakt tussen verpakkingen van verschillende soorten materialen, geeft ook dit de frisdrankproducent geen prikkel om bio-PET te gebruiken in plaats van fossiele PET.

Kip-eiprobleem aan de vraag- en aanbodkant van recyclaat en bio-PET

Naast het ontbreken van voldoende prijsprikkel kent de markt voor r-PET en bio-PET ook een zogenoemd kip-eiprobleem (zie bijvoorbeeld Caillaud & Jullien 2003). Een verhoging van de volumes op deze markt vereist ontwikkelingen aan de vraag- en aanbodzijde, die wederzijds van elkaar afhankelijk zijn. Zolang de vraag naar recyclaat of bio-PET beperkt is en onzeker, zullen investeringen in de uitbreiding van de productiecapaciteit uitblijven en is het voor nieuwe aanbieders niet aantrekkelijk om tot die markt toe te treden. Daardoor blijft het aanbod van recyclaat en bio-PET beperkt. En andersom is het voor producenten van PET-producten risicovol om in hun

productieproces over te stappen op het gebruik van r-PET en bio-PET zolang de capaciteit in het aanbod van r-PET en bio-PET beperkt is en de prijs en kwaliteit ervan onzeker zijn.

Tot het moment waarop vraag en aanbod breed zijn ontwikkeld, kunnen hoge investeringskosten en grote onzekerheden aan beide kanten van de markt een barrière vormen (Elzinga et al. 2021). Dit hangt sterk samen met het eerdergenoemde ontbreken van voldoende prijsprikkels. Zolang fossiele PET als goedkoop alternatief beschikbaar blijft, zullen de opbrengsten van het inzamelen van gebruikt PET laag blijven. Als de kosten van fossiele PET omhooggaan, door beleid of anderszins, zal de vraag naar r-PET en bio-PET toenemen, wat ook zal leiden tot het vergroten van het aanbod, met bijbehorende schaalvoordelen. Zoals hiervoor beschreven, worden prikkels die beleidsinstrumenten geven voor emissiereducties in de PET-keten niet altijd goed doorgegeven, met name tussen de frisdrankproducent en de consument en tussen de consument en de actoren in het afvalbeheer.

Verschillende instrumenten kunnen elkaar aanvullen om zowel de vraag als het aanbod te stimuleren en de PET-keten klimaatneutraal te maken. Zo is het verplichte aandeel recycklaat vanaf 2025 een beleidsinstrument dat de vraag stimuleert. Tot aan het verplichte percentage (25 procent in 2025, 30 procent in 2030) moet de producent kiezen voor gerecycled materiaal, ongeacht de prijs. Dit zorgt voor een gegarandeerde afzetmarkt voor de inzamelaar en maakt investeringen in bijvoorbeeld afvalscheidingstechnieken aantrekkelijker. Hierbij is de precieze vormgeving van het instrument belangrijk, bijvoorbeeld bij welke actoren in de keten de verplichting wordt neergelegd, of uitruil tussen actoren wordt toegestaan en of bio-PET ook meetelt (Bergsma et al. 2022). Ook is het van belang of de verplichting daadwerkelijk bindend is (en niet hoe dan ook al zou worden gehaald) en in de tijd zal worden aangescherpt, en of die niet kan leiden tot een verschuiving naar een toenevend gebruik van andere materialen met mogelijk een hogere CO₂-uitstoot (Brink & Prins 2022). Ten slotte vraagt het gevaar van een *lock-in* aandacht, omdat door investeringen in recycling, opties die op lange termijn mogelijk beter passen in een klimaatneutrale economie – zoals het verminderen of hergebruiken van verpakkingen of het gebruik van biogebaseerde materialen – mogelijk te veel buiten beeld blijven.

7 Conclusie

Voor een klimaatneutrale PET-keten is het van belang dat de geproduceerde PET zo lang mogelijk in de keten blijft. Dat betekent dat er een verschuiving zal moeten plaatsvinden van verbranden naar hergebruik en recycling. Om PET van voldoende kwaliteit te kunnen maken, moet gerecycled materiaal worden aangevuld met nieuw materiaal, wat zou kunnen worden geproduceerd uit biograndstoffen. Een laboratoriumexperiment laat zien dat een verhouding van ongeveer 75 procent r-PET (de verwachte bovengrens van het aandeel recycalaat) en 25 procent bio-PET mogelijk is. In hoeverre deze verhouding verder aangescherpt kan worden, hebben we in deze studie niet onderzocht. Omdat ook recycling en de productie van biograndstoffen beslag leggen op land en energie, blijft het belangrijk om het PET-volume in omvang te beperken, en eisen te stellen aan gebruik en hergebruik van PET.

Momenteel wordt er een mix van beleidsinstrumenten ingezet die bijdraagt aan het verlagen van de broeikasgasemissies in de PET-keten. Ten eerste maakt het beprijzen van emissies bij de productie fossiele PET duurder, wat bedrijven ertoe aanzet om het gebruik van PET te verminderen. Bovendien maakt dit het prijsverschil met r-PET en bio-PET kleiner. Ten tweede stimuleren het stiegeldsysteem en eisen in het kader van de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid het inzamelen en recyclen van PET-flessen na gebruik. Ten derde dwingt een verplicht aandeel recycalaat, zoals dat vanaf 2025 op EU-niveau zal gaan gelden, bedrijven om het beschikbare recycalaat ook daadwerkelijk te gebruiken in PET-flessen. Omdat de PET-keten een internationale keten is waarbij zowel PET-korrels als de producten die daarvan worden gemaakt internationaal worden verhandeld, is het zinvol om te streven naar een gemeenschappelijke aanpak met (ten minste) andere Europese landen.

De inzet op een mix van instrumenten die zowel op de vraag naar PET als het aanbod van r-PET en bio-PET is gericht, lijkt een verstandige keuze om een klimaatneutrale PET-keten dichterbij te brengen. Het huidige beleid zet vooralsnog echter onvoldoende aan tot meer toepassing van recycalaat of bio-PET in de PET-keten. Fossiele PET is nog steeds goedkoper dan r-PET en bio-PET, waardoor verpakkingen nog steeds grotendeels een fossiele oorsprong hebben. Bovendien vormt de wederzijdse afhankelijkheid van de vraag- en aanbodzijde ('kip-eiprobleem') een belemmering voor het verder opschalen van de productie en toepassing van gerecycled en bio-PET.

Implementatie van de Europese richtlijn voor het aandeel recycalaat in de Nederlandse wet- en regelgeving zal helpen om deze belemmering te doorbreken. Omdat bio-PET voor een klimaatneutrale PET-keten op de lange termijn noodzakelijk lijkt, is het zinvol om ook bio-PET in deze verplichting mee te nemen. Dat sluit aan bij het voornemen van het kabinet-Rutte IV om een verplichting voor alle plasticproducenten in te voeren. Daarnaast kunnen eisen worden gesteld aan verpakkingen – bijvoorbeeld wat betreft de vormgeving en het kleur- of materiaalgebruik – waardoor bij het ontwerp van de verpakkingen al rekening wordt gehouden met mogelijkheden voor hergebruik en recycling (ecodesign). Ten slotte is het van belang om ervoor te zorgen dat er voldoende prikkels blijven bestaan om de vraag naar PET te beperken en hergebruik te stimuleren, omdat ook een klimaatneutrale PET-keten beslag legt op schaarse middelen zoals land en energie.

Literatuur

- Afvalfonds Verpakkingen (2023a), *Onze recycleresultaten*. www.afvalfondsverpakkingen.nl/nl/onze-recycleresultaten, 21 augustus 2023.
- Afvalfonds Verpakkingen (2023b), *Reactie van het Afvalfonds Verpakkingen op het Nationaal Programma Circulaire Economie*. www.afvalfondsverpakkingen.nl/nl/actueel/persbericht-reactie-reactie-van-het-afvalfonds-verpakkingen-op-het-nationaal-programma, 17 april 2023.
- Afvalfonds Verpakkingen (2023c), *Statiegeld*. www.afvalfondsverpakkingen.nl/nl/statiegeld, 17 april 2023.
- Afvalfonds Verpakkingen (2023d), *Tarieven*. www.afvalfondsverpakkingen.nl/nl/tarieven, 17 april 2023.
- Baldassare, B., Maury, T., Mathieux, F., Garbarino, E., Antonopoulos, I., & Sala, S. (2022), 'Drivers and barriers to the circular economy transition: the case of recycled plastics in the automotive sector in the European Union', in: *Procedia CIRP 105, 29th CIRP Life Cycle Engineering Conference*, pp. 37-42.
- Bauer, F., Ericsson, K., Hasselbalch, J., Nielsen, T., & Nilsson, L. (2018), *Climate innovations in the plastic industry: Prospects for decarbonisation*. IMES/EESS report 111, Lund University.
- Bergsma, G., Broeren, M., Schep, E. & Warringa, G. (2022), *Verplicht aandeel recycleert of biobased in plastic*. CE Delft.
- Bergsma, G. & Broeren, M. (2019), *Chemische recycling in het afvalbeleid*. CE Delft.
- Bergsma, G. & Broeren, M. (2020), *Welk beleid voor biobased plastics?* CE Delft.
- Bergsma, G., Warringa, G., & Schep, E. (2017), *Kosten en effecten van statiegeld op kleine flesjes en blikjes*. CE Delft.
- Besluit beheer verpakkingen 2014 (2022), *Besluit beheer verpakkingen 2014*. wetten.overheid.nl/BWBR0035711, 6 december 2022.
- Besluit regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (2023), *Besluit regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid*. wetten.overheid.nl/BWBR0044197, 8 mei 2023.
- Bijleveld, M. & Bergsma, G. (2011), *Klimaatimpact van de 0,5 liter PET fles*. CE Delft.
- Bø, E., Hammervoll, T., & Tvedt, K. (2013), 'Environmental impact of refillable vs. non-refillable plastic beverages in Norway'. *International Journal of Environment and Sustainable Development* 12 (4).
- Brink, C. & Prins, A. (2022), *Hoe kan circulaire-economiebeleid bijdragen aan de klimaatdoelstelling?* Planbureau voor de Leefomgeving.
- Broeren, M., Uijttewaal, M., & Bergsma, G. (2022), *Monitoring chemical recycling*. CE Delft.
- Bruyn, S. de, Schep, E., Cherif, S., & Huigen, T. (2016), *Calculation of additional profits of sectors and firms from the EU ETS 2008-2015*. CE Delft.
- Caillaud, B. & Jullien, B. (2003), *Chicken & egg: Competition among intermediation service providers*. *RAND Journal of Economics* 34 (2).
- Coelho, P., Corona, B., ten Klooster, R., & Worrell, E. (2020), 'Sustainability of reusable packaging - Current situation and trends'. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Dimitropoulos, A., Tijm, J., & in 't Veld, D. (2021), *Extended producer responsibility. Design, functioning and effects*. PBL Netherlands Environment Assessment Agency, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- EASAC (2020), *Packaging plastics in the circular economy*. European Academies' Science Advisory Council.

- EEA ETC/WMGE (2021), *Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics)*. European Environment Agency.
- Eerens, H. & van Dam, D. (2022), *Decarbonisation options for Large Volume Organic Chemicals Production*, DOW Chemical Terneuzen. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Elzinga, R., Bours, S., Pruijn, M., Hekkert, M., Hamer, A., & Kwant, K. (2021), *Bio-plastics: Transitie naar een circulaire kunststofketen*. Universiteit Utrecht, Copernicus Instituut.
- Eunomia (2022), *How circular is PET? A report on the circularity of PET bottles, using Europe as a case study*. Eunomia & Zero Waste Europe.
- Europees Parlement & Raad van de Europese Unie (1994), *Richtlijn 94/62/EG van het Europees Parlement en de Raad van 20 december 1994 betreffende verpakking en verpakkingsafval*. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen.
- Europees Parlement & Raad van de Europese Unie (2018), *Richtlijn 2018/852 van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 94/62/EG betreffende verpakking en verpakkingsafval*. Publicatieblad van de Europese Unie.
- Europees Parlement & Raad van de Europese Unie (2019), *Richtlijn 2019/904 van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 5 juni 2019 betreffende de vermindering van de effecten van bepaalde kunststofproducten op het milieu*. Publicatieblad van de Europese Unie.
- gemeente.nu (2022), *Meer en schoner afval scheiden*. www.gemeente.nu/ruimte-milieu/afval/meer-en-schoner-afval-scheiden/, 6 juni 2022.
- GVM (2020), *Aufkommen und Verwertung von PET-Getränkeflaschen*. Gesellschaft für verpackungsmarktforschung.
- ICIS (2021), *ICIS dataset*. United Kingdom.
- IFEU (2008), *Ökobilanz der Glas- und PET-Mehrwegflaschen der GDB im Vergleich zu PET-Einwegflaschen*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU).
- Indorama (2021), *Sustainability Report 2021*.
- Kahlert, S. & Bening, C. (2022), 'Why pledges alone will not get plastics recycled: Comparing recycle production and anticipated demand'. *Resources, Conservation and Recycling* 181.
- Kunststof&Rubber (2023), *Richtprijzen kunststoffen week 14*. www.kunststofenrubber.nl/nieuws/id6894-richtprijzen-kunststoffen-week-14.html, 17 april 2022.
- Leeuw, M. de & Koelemeijer, R. (2022), *Decarbonisation options for the Dutch waste incineration industry*. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Minister voor Klimaat en Energie (2023), *Voorjaarsbesluitvorming Klimaat*. Kenmerk DGKE / 27070798. 26 april 2023.
- Ministerie van IenW & Ministerie van EZK (2018), *Transitieagenda Circulaire Economie - Kunststoffen*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Nederlandse Emissieautoriteit (2022), *Emissiecijfers 2021*.
- Nivea (2022), *Betrokkenheid bij het gebruik van plastic*. <https://www.nivea.nl/over-ons/nivea-duurzaamheid/duurzamere-verpakkingen/gebruik-van-plastic>, 9 februari 2023.
- Pinter, E., Welle, F., Mayrhofer, E., Pechhacker, A., Motloch, L., Lahme, V., & Tacker, M. (2021), 'Circularity study on PET bottle-to-bottle recycling'. *Sustainability* 13, 7370.
- PlasticsEurope (2021), *Plastics - the facts 2020*.
- PWC (2011), *Reuse and recycling systems for selected beverage packaging from a sustainability perspective*. PricewaterhouseCoopers.
- Recycling Netwerk Benelux (2022), *Statiegeld*. <https://recyclingnetwerk.org/themas/statiegeld/>.
- Snijder, L. & Nusselder, S. (2019), *Plasticgebruik en verwerking van plastic afval in Nederland*. CE Delft.

- Staatscourant (2021), *Bekendmaking van de termijnkoers van het broeikasgasemissierecht ten behoeve van de CO₂-heffing industrie voor het kalenderjaar 2022*. Staatscourant 2021, 48021.
- Staatscourant (2022), *Bijstellingsregeling indirecte belastingen en de Provinciewet 2023*. Staatscourant 2022, 33857.
- Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (2020), *Landelijk afvalbeheerplan*. Verslag van een schriftelijk overleg, vastgesteld op 23 juni 2020. Kamerstuk 30872 nr. 247.
- Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (2022), *Landelijk afvalbeheerplan. Verpakkingsbeleid*. Kamerbrief 30872, nr. 285, 31 oktober 2022.
- Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M., van Vuuren, D., & Junginer, M. (2022), 'Plastic futures and their CO₂ emissions'. *Nature* 612, 272–276.
- Trading Economics (2022), *EU Carbon Permits*. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>.
- Tran, A. & West, K. (2021), *Decarbonisation options for the Dutch bottle-grade PET industry*. Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Verrips, A., Hoogendoorn, S., Hoekstra, K., Romijn, G., Folmer, K., & van Gemeren, J. (2017), *De circulaire economie van kunststof: van grondstoffen tot afval*. Centraal Planbureau.
- de Volkskrant (2001), *Statiegeld omlaag door euro*. de Volkskrant, 8 mei 2001.
- Vollebergh, H., Dijk, J., Drissen, E., Eerens, H., & Vrijburg, H. (2017), *Fiscale vergroening: Belastingverschuiving van arbeid naar grondstoffen, materialen en afval*. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Vollebergh, H., Drissen, E., & Brink, C. (2021), *Klimaatverandering in de prijzen? Analyse van de beprijzing van broeikasgasemissies in Nederland in 2018*. Planbureau voor de Leefomgeving.