

Recycling van kunststof legt het af tegen energierterugwinning

De kosteneffectiviteit van kunststofrecycling voor huishoudens – in termen van kosten per ton CO₂-reductie – is laag vergeleken met het terugwinnen van energie uit kunststof. Als Nederlandse gemeenten door willen gaan met het stimuleren van het apart inzamelen van kunststof, dan zal beleid gericht moeten zijn op het verlagen van de kosten van inzameling.

PAUL NILLESEN
Partner bij PwC

ELBERT DIJKGRAAF
Bijzonder hoogleraar aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en lid van de Tweede Kamer voor de SGP

RAYMOND GRADUS
Hoogleraar aan de Vrije Universiteit Amsterdam

RICK VAN KOPPEN
Consultant bij PwC

Een van de speerpunten van het huidige Nederlandse afvalbeleid is de recycling van kunststof. De Nederlandse overheid heeft in het Besluit beheer verpakkingen 2014 bepaald dat bedrijven die kunststofverpakkingen op de Nederlandse markt brengen, verantwoordelijk zijn voor de inzameling en het hergebruik ervan. Het Afvalfonds Verpakkingen geeft, namens de verpakkende bedrijven, collectief uitvoering aan deze producentenverantwoordelijkheid. In 2015 moet 45 procent van de kunststofverpakkingen worden gerecycled, en dit loopt op tot 51 procent in 2021. De voordelen van recycling ten opzichte van energierterugwinning middels verbranding zijn, onder andere, de vermeden CO₂ die anders vrijkomt bij verbranding en de verdringing van ruwe grondstoffen (waaronder olie) die anders door producenten gebruikt zouden worden als grondstof. De verplichtingen uit het Besluit zijn door het Afvalfonds, de VNG en het Ministerie van I&M verder uitgewerkt in de Raamovereenkomst Verpakkingen 2013–2022 (VNG, 2014). Hierin is onder meer opgenomen dat de gemeenten het verpakkend bedrijfsleven faciliteren door zorg te dragen voor de inzameling van het kunststofverpakkingsafval uit huishoudens, de sortering daarvan en

de eventuele vermarkting ten behoeve van hergebruik. De gemeenten ontvangen hiervoor een vergoeding van het Afvalfonds. Recentelijk zijn deze vergoedingen vastgesteld voor de periode 2015–2019. De kosteneffectiviteit van de kunststofrecycling is tot dusver onderbelicht gebleven in het afvalbeleid.

EERDERE LITERATUUR

In de internationale literatuur vindt een debat plaats of het grotendeels recycelen van restafval maatschappelijk optimaal is ten opzichte van de alternatieven, namelijk verbranden en storten (Kinnaman *et al.*, 2014). Volgens Kinnaman *et al.* is het optimale niveau van recycling in Japan, waarbij rekening wordt gehouden met de negatieve (gemonetariseerde) effecten van CO₂-, SO₂- en NO_x-emissies die bij het verbranden en storten van afval vrijkomen, veel lager (tien procent) dan het feitelijke niveau (twintig procent). Omdat de situatie in Japan vergelijkbaar is met die in Nederland, kan deze analyse ook voor Nederland relevant zijn. Ook Japan is dichtbevolkt, heeft een vergelijkbare afvalproductie, en kent een traditie van recycelen en verbranden. Een specifieke kosteneffectiviteitsanalyse voor het verbranden versus het recycelen van kunststof is ons niet bekend. Wel geven Eriksson *et al.* (2005) aan, in een milieueffectrapportage van het Zweedse afvalproces, dat de emissies voor SO₂ en NO_x bij het verbranden van kunststof substantieel lager zijn dan bij het verbranden van restafval. Hierdoor is de reductie van SO₂- en NO_x-emissies bij kunststofrecycling beperkt. Voor de Nederlandse verbrandingsoven geldt dat de rookgasreiniging zodanig is ontworpen dat NO_x en SO₂ worden afgevangen tot ver onder de Europese normen. Daarom wordt in de kosteneffectiviteitsanalyse de milieu-impact alleen uitgedrukt in termen van CO₂.

DATA EN METHODE

Om de kosteneffectiviteit te bepalen van kunststofrecycling worden de opbrengsten, kosten en de milieu-impact

vergeleken met het alternatief, namelijk energierugwinning uit kunststof. Uitgegaan wordt van de impliciete kosten van de CO₂-reductie, die worden berekend door het verschil in netto-kosten te vergelijken met het verschil in de netto CO₂-uitstoot. Deze schaduwprijs (in euro's per ton CO₂) kan vervolgens worden vergeleken met andere opties om CO₂-reducties te realiseren.

De opbrengsten van recycling zijn onder andere de vermeden CO₂ die anders vrijkomt bij verbranding, en de verdringing van ruwe grondstoffen (waaronder olie) die anders door producenten gebruikt zouden worden als grondstof. Tegelijkertijd zijn er aanzienlijke kosten gemoeid met het inzamelen en verwerken door gemeenten. De baten van energierugwinning uit kunststof zijn warmte en elektriciteit, maar hiervoor is wel een installatie nodig (met de bijbehorende infrastructurele investeringen) en er zijn CO₂-emissies.

Om de kosteneffectiviteit te analyseren zijn er data verzameld uit openbare bronnen, en worden er een aantal aannames gedaan gebaseerd op deze bronnen (tabel 1). Aangezien er geen publieke data beschikbaar zijn over de kosten van inzameling en recycling van kunststof, worden die gebaseerd op de vergoedingen uit het Afvalfonds. Deze aanpak kan leiden tot een ietwat grofmazige inschatting van de kosteneffectiviteit, omdat de vergoedingen een benadering vormen van de daadwerkelijke kosten. Wij testen de gevoeligheid van de uitkomsten dan ook voor veranderingen in de vergoedingen.

Verondersteld is dat één ton gemengde kunststof apart wordt ingezameld en vervoerd naar een recyclingfabriek. De samenstelling van een één ton gemengde kunststof is gebaseerd op de massabalans van aan de bron gescheiden kunststof uit huishoudens. Gebaseerd op de onderliggende aanname van de vergoedingssystematiek wordt er uitgegaan van een recyclingpercentage van 75 procent voor de ingezamelde gemengde kunststof. Dit betekent dat 25 procent van de ingezamelde kunststof wordt gebruikt voor energierugwinning (de kosten en opbrengsten hiervan zijn onderdeel van de vermarktungsvergoeding van het Afvalfonds). Door de verwijdering van kunststof uit

het reguliere afval ontstaat er een 'tekort' aan de warmte en elektriciteit die anders door de Afvalenergiecentrale (AEC) zouden worden geproduceerd. Uitgangspunt is dat de energie-inhoud van de kunststof ingekocht wordt tegen marktprijzen – gecorrigeerd voor conversieverliezen.

De totale nettokosten zijn voor de recyclingoptie aanzienlijk hoger dan voor de energierugwinning

Voor het terugwinnen van energie uit kunststof wordt er aangenomen dat de kunststof middels de reguliere inzameling van restafval bij de AEC komt. Ook hier gaan wij uit van één ton gemengde kunststof die verbrand wordt, maar niet apart wordt ingezameld. De integrale kosten van de AEC worden gehanteerd, en de opbrengsten voor elektriciteit en warmte zijn geschat op basis van beschikbare gegevens. Door het verbranden van kunststof ontstaat er een 'tekort' aan gerecyclede kunststof, dat in een kosteneffectiviteitsanalyse gecompenseerd moet worden. Het volume gerecyclede kunststof wordt tegen marktprijzen ingekocht.

UITKOMSTEN

In tabel 2 zijn de nettokosten van kunststofrecycling en energierugwinning uit kunststof opgenomen. Doordat de vergoedingen uit het Afvalfonds een totale vergoeding betreffen, is een specificatie van de kosten niet mogelijk. De totale nettokosten, zonder de kosten voor vervanging van energie of kunststof, zijn voor de recyclingsoptie aanzienlijk hoger dan voor de energierugwinning. Dit verschil wordt voornamelijk verklaard door de hoge inzamelings-

Belangrijkste data, aannames en bronnen

TABEL 1

Assumptie	Waarde	Bron
Energie-inhoud kunststof	29 MJ/kg	CE Delft (2011)
Efficiëntie elektriciteitsproductie	21%	Analyse o.b.v. Rijkswaterstaat (2013)
Efficiëntie warmteproductie	20%	Analyse o.b.v. Rijkswaterstaat (2013)
Kosten kunststofverbranding	181 €/ton	NVRD benchmark (2012)
CO ₂ -uitstoot kunststof bij verbranding	2.599 kg/ton kunststof	CE Delft (2007)
Kosten kunststofrecycling	670 €/ton	VNG (2014)
CO ₂ -uitstoot kunststofrecycling	271 kg/ton kunststof	CE Delft (2007)
Elektriciteitsprijs	50 €/MWh	Analyse o.b.v. APX-prijzen
Warmte- en stroomprijs	6 €/GJ	Ministerie van Economische Zaken (2013)
Gewogen gemiddelde prijs kunststofgranulaat	660 €/ton kunststof	Analyse o.b.v. gemiddelde 2014 prijzen van plasticker.de

en transportkosten van kunststof. Ook zijn er relatief hoge opbrengsten voor energie, die het gevolg zijn van de hoge energiewaarde van kunststof (29 MJ/kg kunststof versus 10 MJ/kg gemengd huishoudelijk afval).

In de recyclingsoptie wordt rekening gehouden met de vervanging van energie die anders gerealiseerd zou worden bij energierugwinning. Dit komt uit op 90 euro per ton. Bij energierugwinning dient juist de verbrande kunststof vervangen te worden. Deze kosten zijn gelijk aan 495 euro per ton. De totale kosten voor het recyclen van kunststof zijn 760 euro per ton, en voor de energierugwinning 561 euro per ton – een verschil van 199 euro per ton.

In tabel 3 is de CO₂-uitstoot van beide opties opgenomen. De CO₂-uitstoot van energierugwinning is 1,16 ton hoger dan voor de recyclingsoptie. Dit verschil wordt veroorzaakt door de hogere uitstoot van CO₂ bij het verbranden van kunststof. Door het verschil in de kosten uit tabel 2 te vergelijken met het verschil in de CO₂-uitstoot kan

de kosteneffectiviteit van recycling van kunststof worden berekend in termen van CO₂-winst. Dit betekent dat de schaduwprijs van één ton CO₂-reductie middels kunststofrecycling gelijk is aan 172 euro (199/1,16 ton CO₂).

De huidige marktprijzen voor CO₂ in het Europese emissiehandelssysteem (ETS) liggen tussen vijf en tien euro per ton. Deze lage prijzen worden verklaard door het surplus van rechten na de tweede handelsperiode, en een daling van het vertrouwen van de markt in ETS om het prijssignaal te versterken. In de doorrekening van het Energieakkoord door PBL/ECN (2013) is er uitgegaan van een CO₂-prijs van 8 euro per ton in 2020 en 15 euro per ton in 2030. Met de voorgestelde aanpassingen in het ETS is de verwachting dat de kosten voor CO₂ zullen stijgen richting 50 euro per ton in 2030, wat overeenkomt met de gemiddelde externe kosten die de literatuur schat (CE Delft, 2008).

Op basis van huidige en toekomstige CO₂-prijzen valt de kosteneffectiviteit in termen van CO₂-reductie van kunststofrecycling dus negatief uit vergeleken met energierugwinning. Een van de duurere opties binnen de energiesector – het afvangen en opslaan van CO₂ (CCS) – kost circa 80 euro per ton CO₂. Met andere woorden, de CO₂-winst die behaald wordt door kunststof te recyclen is duurder als we dit vergelijken met gangbare CO₂-prijzen en technologieën die binnen de energiesector worden onderzocht.

GEVOELIGHEIDSANALYSE

De twee belangrijkste factoren die invloed hebben op de kosteneffectiviteit zijn de opbrengsten van het gerecyclede materiaal, en de kosten om recycling van kunststof te realiseren (inzamelen en verwerken). Het recyclen van kunststof levert vooralsnog secundaire kunststof op, die niet direct concurreert met primaire kunststof. Het vergroten van de markt voor secundaire kunststof (bijvoorbeeld door het gebruik aantrekkelijker te maken) of het verbeteren van de kwaliteit van de output (door gerichte innovaties in het productieproces) kan de opbrengst vergroten en daarmee de kosteneffectiviteit verhogen.

Het grootste deel van de kosten wordt veroorzaakt door het inzamelen van kunststof bij huishoudens; dit betreft twee derde van de totale vergoeding aan gemeenten. Een van de problemen met inzameling van kunststof bij huishoudens is dat het om relatief kleine volumes gaat – circa veertien kg per huishouden (CBS). Gemeenten hebben de mogelijkheid deze inzamelingskosten te verlagen door, onder andere, prijsprikkels in te bouwen voor restafval via het invoeren van diftar (naar gewicht en volume gedifferentieerde heffingen) wat beter scheiden stimuleert, door vormen van omgekeerd inzamelen te introduceren – waarbij men grondstoffen zoals kunststoffen huis aan huis inzamelt, maar restafval naar containers laat brengen zodat kunststof scheiden fysiek aantrekkelijker wordt – door de inzameling van containers af te stemmen op een hogere vullingsgraad, en het uitbesteden van de inzameling. Uit onderzoek van Dijkgraaf en Gradus (2015) blijkt dat met name diftar effectief is in het verlagen van de inzamelingskosten. De gevoeligheid van de kosteneffectiviteit wordt getoetst via drie scenario's. De uitkomsten zijn opgenomen in tabel 4.

TABEL 2
Nettokosten recycling en energierugwinning van kunststof per ton

Nettokosten in euro per ton	Recycling	Energie-terugwinning
Inzameling en transport	408	60
Verwerking en vermarkting	262	6
Kosten vervanging energie	90	
Kosten vervanging kunststof		495
Totaal	760	561

TABEL 3
CO₂-uitstoot recycling en energierugwinning van kunststof per ton

CO ₂ -uitstoot per ton	Recycling	Energie-terugwinning
Energierugwinning	0,65	2,60
Recycling	0,20	
Transport	0,02	0,01
Uitstoot vervanging energie	0,78	
Uitstoot vervanging kunststof		0,20
Totaal	1,66	2,81

TABEL 4
Gevoeligheidsanalyse

Scenario	Kosten per ton CO ₂ in euro
Basisscenario	172
Inkoop energie CO ₂ -neutraal	103
Vergoeding Afvalfonds 2019	68
Kunststofprijs stijging +10 procent	86

In het eerste scenario is aangenomen dat de ingekochte energie in de recyclingsoptie volledig CO₂-neutraal is (van 0,78 per ton naar 0 per ton). In dit geval neemt het verschil in CO₂-uitstoot toe ten nadele van energierugwinning, maar blijven de kosten gelijk. De kosteneffectiviteit verbetert van 172 euro per ton CO₂ naar 103 euro per ton CO₂. Zelfs met volledig duurzame energie als vervanger van de energie die van kunststof vrijkomt, blijft de kosteneffectiviteit dus laag.

De vergoedingen die zijn afgesproken tussen het Afvalfonds en de VNG lopen van 2015 tot 2019. Volgens deze afspraken zullen de vergoedingen dalen tussen 2015 en 2019. Onduidelijk is of deze daling gebaseerd is op een verwachte kostendaling of dat dit slechts een onderhandelingsresultaat is. Er is afgesproken dat de vergoedingen in 2017 geëvalueerd worden op basis van de marktontwikkelingen. In het tweede scenario is de vergoeding in het jaar 2019 als basis genomen voor de inzamelkosten (een daling van 120 euro per ton kunststof). De kosteneffectiviteit neemt hierdoor toe van 172 euro per ton CO₂ naar 68 euro per ton CO₂. Ondanks een verwachte daling van de vergoeding in 2019, blijft de kosteneffectiviteit laag vanuit een CO₂-perspectief – hoewel in dit scenario de kosten voor een ton CO₂-reductie in de buurt komen van de externe kosten zoals geschat in de literatuur (50 euro per ton CO₂).

Tot slot analyseert het derde scenario de gevolgen van een prijsstijging van kunststof. De prijs van secundaire kunststof wordt bepaald door vraag en aanbod, en door de kosten van primaire kunststof (als substituu) – wat weer afhankelijk is van de prijs van ethyleen (als bouwsteen voor polyethyleen, waar de meeste kunststof van wordt gemaakt). De correlatie tussen de olieprijs en de prijs van secundaire kunststof is circa 45 procent, gebaseerd op maandprijzen van de afgelopen vijf jaar. Daarmee heeft de recente daling van de olieprijs maar een beperkte neerwaartse invloed gehad op de prijs van secundaire kunststof. Indien de prijs van secundaire kunststof omhoog gaat, wordt recycling aantrekkelijker, omdat lagere vergoedingen nodig zijn en de kosten van de alternatieve aanwending – energierugwinning – toenemen. In dit voorbeeld laten wij de prijs van secundaire kunststof met tien procent stijgen van 495 naar 544 euro per ton. Het gevolg hiervan is dat de kosteneffectiviteit toeneemt van 172 euro per ton in het basisscenario naar 86 euro per ton. De kunststofprijs zal verder moeten stijgen om recycling aantrekkelijker te maken ten opzichte van energierugwinning. Logischerwijs is een daling van de prijs in de praktijk ook mogelijk.

CONCLUSIE EN BELEIDSIMPLICATIES

De kosteneffectiviteit van kunststofrecycling voor huishoudens – in termen van kosten per ton CO₂-reductie – is laag vergeleken met het terugwinnen van energie uit kunststof. Volgens een kosteneffectiviteitsanalyse kost een besparing van een ton CO₂ middels kunststofrecycling circa 172 euro. Dit ligt significant hoger dan de huidige marktprijs van een ton CO₂, hoger dan de externe kosten uit de literatuur, en ook hoger dan een van de duurste CO₂-reductieopties, namelijk CCS. Een gevoeligheidsanalyse geeft aan dat deze conclusie blijft staan in bijna alle scenario's. Gelet op de lage kosteneffectiviteit is het de vraag of het vanuit

maatschappelijk oogpunt wenselijk is kunststof bij huishoudens apart in te zamelen voor recycling.

Deze conclusie geldt specifiek voor huishoudelijke kunststofafval. Gescheiden kunststofinzameling kan bij bedrijven die veel kunststof als afvalproduct hebben een te verdedigen bijdrage leveren, door gemiddeld hogere volumes per inzamelpunt waardoor de inzamelkosten lager zullen zijn. Verder zijn dit doorgaans schonere afvalstromen, zodat verwerkingskosten lager zullen liggen dan wel de opbrengsten hoger zullen zijn. De kosten per vermeden ton CO₂ liggen dan ook fors lager.

Het dilemma van kunststofrecycling in Nederland is de combinatie van een hoge energiewaarde van kunststof, efficiënte afvalenergiecentrales (waardoor het alternatief van energierugwinning aantrekkelijk is), hoge inzamelkosten door het lage soortelijk gewicht, en de relatief lage opbrengst van secundaire kunststof.

Als Nederland door wil gaan met het stimuleren van het apart inzamelen van kunststof bij huishoudens en hogere ambities neerlegt dan Europa vereist, dan zal het gemeentelijk beleid gericht moeten zijn op het verlagen van de inzamelkosten en het stimuleren van de inzet van secundaire kunststof.

Afvalenergiecentrales bieden op dit moment een kosteneffectieve route om energie terug te winnen uit kunststof die anders verloren gaat. Bovendien worden schadelijke stoffen afgevangen. *Concurrentie* tussen de verschillende routes om kunststof te 'recyclen' (hetzij tot nieuwe kunststof, hetzij tot energie) zonder daarbij een bepaalde route af te dwingen (boven de gestelde EU-doelen), zou wel eens de beste beleids optie kunnen zijn, omdat dit mogelijk een bijdrage kan leveren aan innovatie en kostenreducties (Dijkgraaf en Gradus, 2014).

LITERATUUR

- CE Delft (2008) *Berekening van externe kosten van emissies voor verschillende voertuigen*. Delft: CE.
- Dijkgraaf, E. en R.H.J.M. Gradus (2014) *Laat de markt haar werk doen bij recyclen van afval*. *Het Financieel Dagblad*, 18 juli.
- Dijkgraaf, E. en R.H.J.M. Gradus (2015) *De effectiviteit van het recyclingsbeleid*. *ESB*, 100(4702), 56–59.
- Eriksson, O., R.M. Carlsson, B. Frostell et al. (2005) *Municipal solid waste management from a systems perspective*. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 241–252.
- Kinnaman, T.C., T. Shinkuma en M. Yamamoto (2014) *The socially optimal recycling rate: evidence from Japan*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 68(3), 54–70.
- PBL/ECN (2013) *Uitgangspunten voor het referentiepadij bij de evaluatie van het SER-energieakkoord*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PwC (2015) *High level analyse kosteneffectiviteit recycling en energierugwinning kunststof*. Te verschijnen.
- VNG (2014) *Ledenraadpleging: afspraken vergoedingen inzameling en post-collection kunststof*. Brief. Den Haag: VNG.