



Verbeteropties voor de recycling van kunststofverpakkingen

Industriële beleidsopties voor verbetering van de kwaliteit en kwantiteit van het gewassen maalgoed uit de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen.

E.U. Thoden van Velzen, M.T. Brouwer en C. Picuno

Report 1823



Colofon

Titel	Verbeteropties voor de recycling van kunststofverpakkingen
Auteur(s)	E.U. Thoden van Velzen, M.T. Brouwer en C. Picuno
Nummer	1823
DOI-nummer	https://doi.org/10.18174/450447
Publicatiedatum	31 mei 2018
Versie	Definitief
Vertrouwelijk	Nee, openbaar
OPD-code	14620324
Goedgekeurd door	Arie van der Bent
Review	Intern en extern reviewed
Naam reviewer	Heike Axmann
Financiers	TI Food and Nutrition, KIDV en Wageningen Food and Biobased Research
Opdrachtgever	TI Food and Nutrition en KIDV

Wageningen Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl/foodandbiobased-research

© Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft het effect van industriële beleidsmaatregelen binnen de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen op de kwaliteit en kwantiteit van de recyclingproducten (gewassen maalgoederen). Deze studie is uitgevoerd door onderzoekers van Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) in opdracht van Top instituut Food & Nutrition (TiFN) en Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV), binnen het wetenschappelijk onderzoeksprogramma 'Sustainable Packages'. Dit onderzoeksprogramma wordt gefinancierd door TiFN, KIDV en de eigen bijdrage van de meewerkende onderzoeksinstituten. Binnen dit onderzoekprogramma wordt de recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen in detail onderzocht. De onderhavige studie heeft een model opgeleverd, waarmee kan worden voorspeld hoeveel gewassen maalgoederen de recyclingketen van huishoudelijke verpakkingen produceert en met welke kwaliteit (polymere samenstelling). Dit model is beschreven in een wetenschappelijk artikel [Brouwer et al 2018]. Het model, geijkt in 2014, wordt in deze studie gebruikt om de effecten van industriële beleidsopties in de keten op de hoeveelheid en kwaliteit van de gewassen maalgoederen voorspellend te berekenen. Met industriële beleidsopties worden bedoeld technische maatregelen en industriële beleidsbeslissingen die betrokkenen in de recyclingketen kunnen nemen.

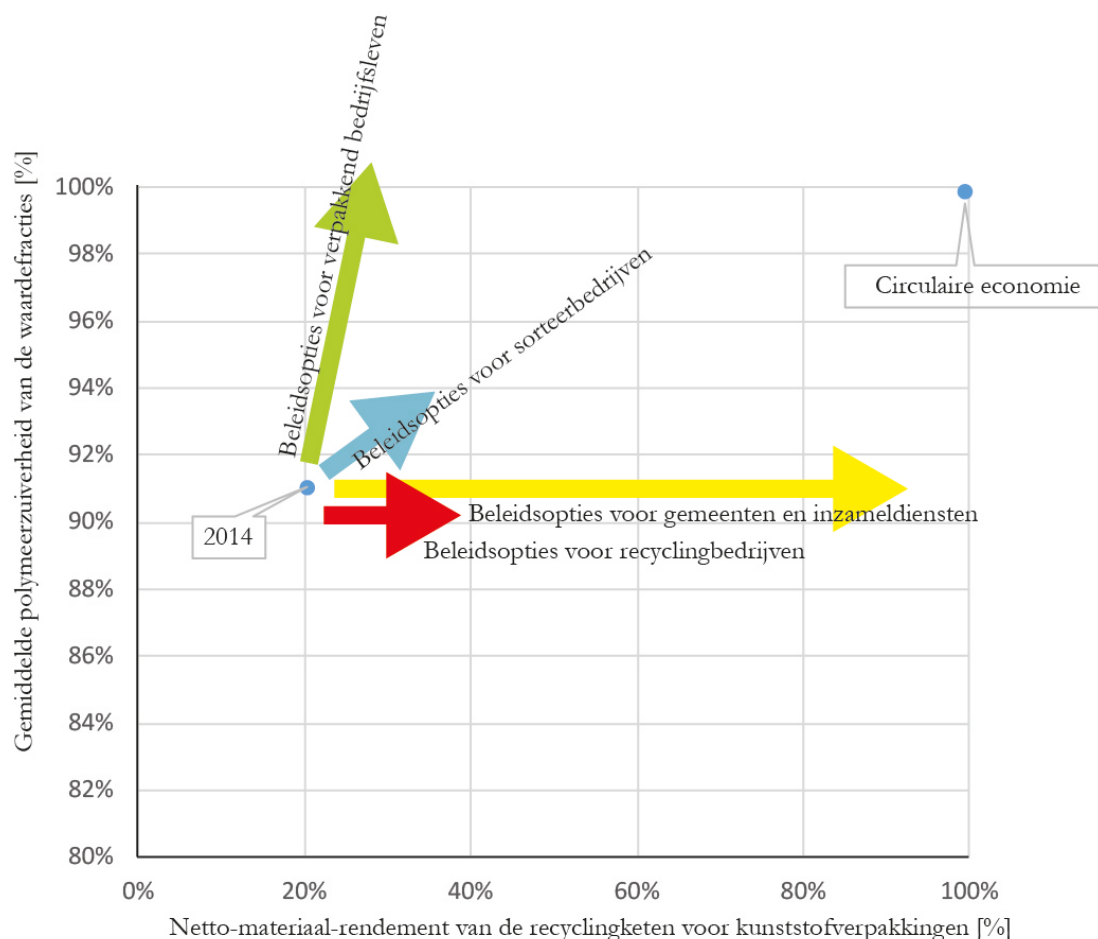
De beleidsopties worden per ketenpartij besproken; opties voor de verpakkende industrie, gemeenten en inzameldiensten, sorteerbedrijven en recyclingbedrijven. Voor elke beleidsoptie worden 2 prestatie-indicatoren van de recyclingketen berekend en 4 kwalitatieve beoordelingscriteria ingeschat en vergeleken met die van het basismodel van de recyclingketen in 2014. De twee berekende prestatie-indicatoren zijn het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen (maat voor de circulariteit in termen van de hoeveelheden geproduceerd recycklaat ten opzichte van de nieuw inzet voor huishoudelijke kunststofverpakkingen) en de gemiddelde polymeer-zuiverheid (maat voor de circulariteit in termen van de kwaliteit van het geproduceerde recycklaat). De vier ingeschatte beoordelingscriteria zijn de toepasbaarheid van de producten, de financiële effecten, de acceptatie van de maatregel en de technische gereedheid van de maatregel.

In 2014 bedroeg het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen $20 \pm 2\%$ en de gemiddelde polymeer-zuiverheid $91 \pm 6\%$. Beide prestatie-indicatoren zijn dus nog ver verwijderd van de 100% die nodig zou zijn in een volledige circulaire economie.

In totaal werden er 22 industriële beleidsopties geïdentificeerd, die uiteenlopen van heel concreet tot breed en veelomvattend. De belangrijkste beleidsopties worden nu per ketenpartij besproken:

1. Verpakkende industrie. Het industrie-breed invoeren van *design-for-recycling* maatregelen leidt vooral tot een zuiverder recycklaat en ook iets meer recycklaat. Aanvullend kan ook met markeertechnologie de hoeveelheid en kwaliteit van de recyclingproducten worden verbeterd.

2. Gemeenten & Inzameldiensten. Het verdergaand invoeren van gecombineerde co-inzamelsystemen als PD en PMD en het gelijktijdig vergroten van de nascheiding-capaciteit leidt tot fors meer recyclaat. Hierbij moet dan wel de insleep van ongewenste materialen zoveel mogelijk worden beperkt.
3. Sorteerbedrijven. Een aangepaste sorteerwijze waarbij gestuurd wordt op maximale hoeveelheden van hoogwaardige sorteerproducten leidt tot meer recyclaat van een hogere zuiverheid.
4. Recyclingbedrijven. Beleidsopties voor recyclingbedrijven hebben een beperkte invloed op de overall kwantiteit en kwaliteit van de recyclingproducten. De verdere ontwikkeling van de meer circulaire toepassingen van gerecycleerd PE voor non-food flacons en folieverpakkingen zal nog dit jaar leiden tot een toename in circulair toepasbaar recyclaat. Voor meer circulair hergebruik zullen er nieuwe recyclingprocessen en mogelijk chemische recyclingprocessen moeten worden ontwikkeld voor de 2 sorteerproducten met veel meerlaagse verpakkingsmaterialen (PET-schalen en MIX).



Figuur S1: Effecten van de industriële beleidsopties op de twee prestatie-indicatoren voor de circulaire economie van kunststofverpakkingen. Verbeteropties voor de verpakkende industrie helpen de kwaliteit van het recyclingsysteem vooruit (groene pijl). Verbeteropties voor de inzameldiensten en gemeenten helpen de kwantiteit van het recyclingsysteem vooruit (gele pijl). Verbeteropties voor sorteerbeidrijven en recyclingbedrijven (blauwe en rode pijlen) hebben in verhouding een kleinere bijdrage.

Dit rapport maakt inzichtelijk in welke mate industriële beleidsbeslissingen van ketenpartijen helpen om een meer circulaire kunststofverpakkingsketen dichter te benaderen. Alle individuele beleidsopties laten kleine verbeteringen in één of beide prestatie-indicatoren zien. Desalniettemin zijn wij nog ver verwijderd van een circulaire kunststofverpakkingsketen, wel kunnen er verbeterstappen worden gezet. Een kwantitatief meer gesloten hergebruiksketen vereist maatregelen door gemeenten en inzameldiensten ter bevordering van de gescheiden inzameling en meer nascheiding. Een kwalitatief meer gesloten hergebruiksketen vereist meer nadruk op *design-for-recycling*, beter sorteren en beter mechanisch recyclen. Om een ideale, circulaire economie voor huishoudelijke kunststofverpakkingen dichter te benaderen, zal er zowel meer recyclelaat moeten worden geproduceerd als zuiverder recyclelaat. Dit vereist ketenregie, zodat de belanghebbenden gaan samen werken, de beleidsopties op elkaar worden afgestemd, en ondersteund worden door beleid met de juiste incentives.

Aangezien PMD de dominante inzamelmethode voor huishoudelijke kunststofverpakkingen in Nederland is geworden en het basismodel (2014) hier ook niet voor bedoeld is, wordt als vervolg op dit rapport een verbeterde versie van het model opgesteld en gepubliceerd. Dit model zal gevoed zijn met nieuwe data uit 2017 (samenstellingsdata van ingezameld PMD materiaal en alle hieruit gemaakte sorteerproducten alsmede de nieuwe sorteerverdelingen en *sorting fates* per verpakkingstype), waardoor het model een recenter beeld zal geven van de recyclingketen in Nederland. Op basis van dit nieuwe model zullen vervolgens in een toekomstig rapport de gecombineerde effecten van beleidsopties worden onderzocht en zal ook duidelijker worden wat de praktisch haalbare grenzen voor beide prestatie-indicatoren zijn.

Abstract

This report describes the impact of industrial policy options on the recycling chain for post-consumer plastic packages in terms of the quantity and quality of the recycling products (washed milled goods). Researchers of Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) conducted this study for Top Institute Food & Nutrition (TiFN) and Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV) within the scientific research program “Sustainable Packages”. This research program is financed by TiFN, KIDV and the contributions of the participating universities and research institutes. Within this research program the post-consumer plastic packaging recycling chain is studied in detail. This study has yielded a model, with which the amount and quality (polymeric composition) of the products of the recycling chain can be predicted. This model has been described in a recent scientific publication [Brouwer et al 2018]. This model, set for the Dutch recycling chain in 2014, is used in this study to calculate the impacts of industrial policy options on the recycling chain and on the quantities and qualities of washed milled goods. With the term “industrial policy options” all technical improvement options and industrial policy options are meant that individual stakeholders in the chain can implement to improve the performance of the whole chain.

These policy options are discussed per chain actor; all industries that put packaged products on the market (but especially the FCMG industry), municipalities & collection agents, sorting companies and recycling companies. For each policy option 2 performance indicators of the recycling chain are calculated and 4 qualitative assessment criteria are estimated and compared to the values of the base model. The two calculated performance indicators are the net material yield of the recycling chain (a measure for the circularity of the recycling chain in terms of the quantities of recycling products made in relation to the amounts of packaging used) and the average polymeric purity (a measure for the circularity of the recycling chain in terms of the quality of the recycling products made). The four estimated assessment criteria are the applicability of the recycling products, the financial consequences, the acceptance of the policy option and the technical readiness of the option.

In 2014 the net material yield of the recycling chain equalled $20 \pm 2\%$ and the average polymeric purity of the recycling products amounted $91 \pm 6\%$. Both the performance indicators are hence still far off the 100% which would be required for a full circular economy.

In total 22 policy options were identified, which varied from small and precise to broad and comprehensive. The results of the most important policy options are summarised for each chain actor.

1. FMCG Industry. Industry-wide implementation of design-for-recycling policies yields more pure recycling products and also a little bit more recycled products. Marking technologies can also contribute positively to the amount and quality of the recycling products.

2. Municipalities and collection agencies. Policy options for collection agents such as the combined co-collection of plastics, metals and beverage cartons (PMD in Dutch) and more mechanical recovery of MSW, renders much more recycling products. Nevertheless, strict quality controls are required to limit the level of contaminants.
3. Sorting companies. A modified sorting policy aimed at maximal amounts of pure sorting products will render more recycling products of a higher purity.
4. Recycling companies. Policy options for recycling companies have a limited impact on the overall quantity and quality of the recycling products. The further development of more circular applications of recycled PE for non-food-bottles and flexible packages will raise the amounts of highly pure, circular applicable, recycled products this year. Further options for more circular recycling with mechanical recycling techniques are limited. This will require chemical recycling techniques. These are especially interesting for the sorting products PET trays and MIX which are rich in laminated plastic packaging structures.

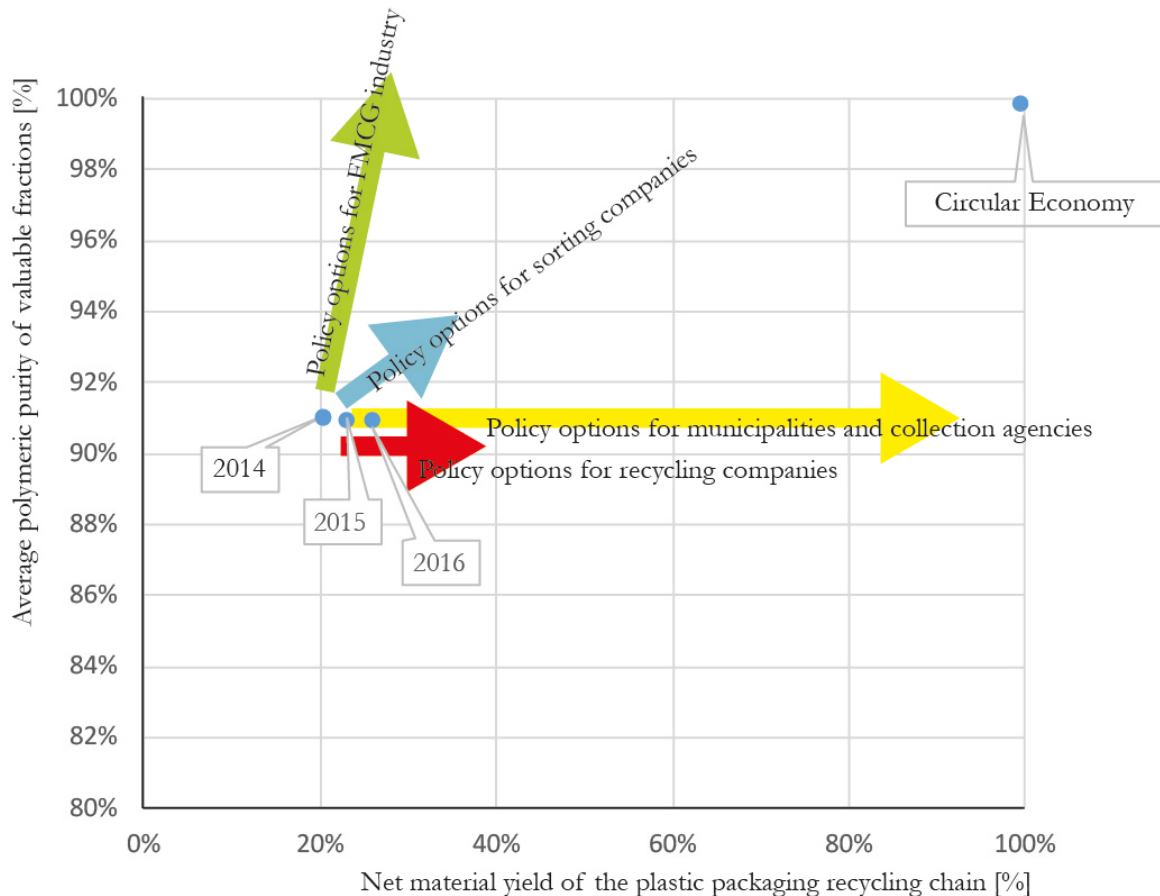


Figure S1: Impacts of the industrial policy options on the two performance indicators for the circular economy of plastic packages. The improvement options for the FMCG industry improve the polymeric purity of the recycled products and hence the quality of the recycling system (green arrow). The improvement options for the collection agencies and municipalities improve the magnitude of the recycled system (orange arrow). Improvement options for sorting and recycling companies (blue and red arrows) have relatively smaller impacts on the recycling system.

This report clarifies to what extent industrial policy options of incumbents help to approach a more circular economy for plastic packages. All policy options show small improvements in one or both performance indicators. Nevertheless, the recycling chain for post-consumer plastic packages is still far from ideally circular, although improvements can be made. A quantitatively more closed recycling chain requires policy options for municipalities and collection agencies to encourage separate collection and an extension of the capacity for the mechanical recovery of MSW. A qualitatively more closed recycling chain requires a focus on design-for-recycling policies, improved sorting and more advanced mechanical recycling techniques. In order to approach an ideal, circular economy for post-consumer plastic packages, both more and more pure recycled products need to be produced. This requires chain coordination, fine-tuning of policy options between actors and support them with the governmental policies and the correct incentives.

Since co-mingled PMD collection has become the dominant collection method in the Netherlands for post-consumer plastic packages and our recycling model (based on mono-collection in 2014) is not suited for it, an improved version of the model is currently being build and will be published. This model will be fed with new data from 2017 (composition data on collected PMD, all sorting products, sorting divisions and sorting fates per packaging type), with which the actualised model will give a more recent and correct representation of the recycling chain in the Netherlands. Subsequently, this new model will be used in a future report to study the impacts of combined policy options. This will also clarify what the practically achievable boundaries are for both performance indicators.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Abstract	6
1 Inleiding	11
2 Methode en beoordelingscriteria	14
2.1 Technisch model	14
2.2 Keuze van de maatregelen	17
2.3 Gebruik van het model	18
2.4 Consultatie van belanghebbenden	20
3 Resultaten	21
3.1 Beleidsopties voor het verpakkende bedrijfsleven	21
3.1.1 Uitbannen PVC-verpakkingen.	21
3.1.2 Uitbannen PS-verpakkingen.	25
3.1.3 Andere zwarte kleurstof.	28
3.1.4 Design for recycling maatregelen gericht op meer mono-materialen	29
3.1.5 Markeertechnologie	37
3.2 Beleidsopties voor gemeenten en inzameldiensten	43
3.2.1 PMD inzameling	43
3.2.2 Maximaal nascheiden, bouw huidige capaciteit.	50
3.2.3 Maximaal nascheiden (100% van MSW wordt aangeboden aan nascheiders).	52
3.2.4 Bewust inzetten bestaande nascheiding-capaciteit	54
3.3 Beleidsopties voor sorteerbe-drijven	57
3.3.1 Kitkoker uitsorteren	57
3.3.2 Zwart kunststof uit de sorteerrest met NIR-machines	58
3.3.3 Maximaal effectief sorteerbeleid stimuleren	60
3.4 Beleidsopties voor recyclingbedrijven	64
3.4.1 PE bottle (non-food) recycling	64
3.4.2 Film to film recycling	65
3.4.3 Sorteren en (chemisch) recyclen van PET trays	67
3.4.4 Alternatieve verwerkingswijzen voor MIX	70
3.4.5 Magnetische dichtheidsscheiding	73
3.5 Algemeen overzicht van de maatregelen en hun effect	77
4 Aanvullende inzichten na consultatie belanghebbenden	80
4.1 Aanvullende modelberekening PMD inzamelen + aangepast sorteerbeleid	80
4.2 Conclusies ontwikkelingen 2015-2017	84
5 Discussie	85
6 Conclusies	90

Dankbetuiging	91
Literatuur	92
Bijlagen	96

1 Inleiding

Kunststofverpakkingen vormen een belangrijke pijler onder moderne samenlevingen. Doordat consumptie en productie van elkaar gescheiden zijn, is er een noodzaak voor verpakkingen die de consumptiegoederen beschermen tot het moment van consumptie. Verpakkingen moeten producten voldoende beschermen en gelijktijdig de impact op kosten en milieu beperkt houden. Kunststofverpakkingen hebben in vergelijking met concurrerende verpakkingen van andere materialen (glas, metaal en papier & karton) vaak lagere gewichten en belasten daardoor het milieu vaak minder. Daar staat tegenover dat de recyclingketen voor kunststofverpakkingen nog in de kinderschoenen staat en in ontwikkeling is. Dit eenmalig bruikbare karakter van kunststofverpakkingen in combinatie met de maatschappelijke problemen die zijn gerelateerd aan de lekkage van kunststofverpakkingen naar de natuur leiden tot een groeiend besef dat er een circulaire economie nodig is voor verpakkingen en in het bijzonder kunststofverpakkingen [Ellen Macarthur Foundation 2016]. Nederland is in 2008 begonnen met het breed inzamelen en recyclen van kunststofverpakkingen. Ondanks dat er jaarlijks meer kunststofverpakkingen worden ingezameld en gerecycleerd [Afvalfonds 2016], blijkt het voor verpakkende bedrijven lastig om voldoende zuiver recycalaat te kunnen kopen om toe te passen als *recycled content* in nieuwe kunststofverpakkingen [PCE 2107]. Dit rapport geeft een technische analyse van de verbeteropties die er zijn om de hergebruiksketen van kunststofverpakkingen meer te sluiten.

Dit rapport beschrijft het effect van industriële beleidsmaatregelen binnen de recyclingketen voor kunststofverpakkingen op de kwaliteit en kwantiteit van de recyclingproducten (gewassen maalgoederen). Deze studie is uitgevoerd door onderzoekers van Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) in opdracht van Top instituut Food & Nutrition (TiFN) en Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV), binnen het wetenschappelijk onderzoeksprogramma 'Sustainable Packages'. Dit onderzoeksprogramma wordt gefinancierd door TiFN, KIDV en de eigen bijdrage van de meewerkende onderzoeksinstituten. Binnen dit onderzoekprogramma wordt de recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen in detail onderzocht. Dit onderzoek heeft een voorspellend model opgeleverd, waarmee kan worden voorspeld hoeveel gewassen maalgoederen de recyclingketen van huishoudelijke verpakkingen produceert en met welke kwaliteit (polymere samenstelling). Dit model is beschreven in een wetenschappelijk artikel [Brouwer et al 2017]. Het model wordt in deze studie gebruikt om de effecten van industriële beleidsmaatregelen in de keten op de hoeveelheid en kwaliteit van de gewassen maalgoederen voorspellend te berekenen.

De recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen bestaat uit verschillende soorten bedrijven (verpakkend bedrijfsleven¹, gemeenten & inzameldiensten, sorteerbedrijven, mechanische recyclingbedrijven, compoudeurs, converters en toepassende bedrijven). Al deze

¹ Met verpakkend bedrijfsleven bedoelen we in het kader van design-for-recycling alle bedrijven die verpakte consumentengoederen op de Nederlandse markt brengen en betrokken zijn bij het verpakkingsontwerp-proces. Dit zijn dus zowel producenten, importeurs als loon-verpakkers die in opdracht van een retail-keten werken. A-merk producenten maken vaak zelf design beslissingen. Terwijl er bij private-label producten vaak een gedeelde inbreng is van retailketen, loonverpakker, machinebouwer en verpakkingsmiddelen-leveranciers.

bedrijven kunnen afzonderlijk technische maatregelen doorvoeren of beleidsbeslissingen nemen met als bedoeling de recyclingketen in zijn geheel beter te laten functioneren. We gebruiken de term ‘industriële beleidsopties’ om aan te duiden dat het om zowel technische maatregelen als om industriële beleidsbeslissingen kan gaan. De ketenspelers die binnen de systeemgrenzen van deze studie vallen zijn verpakkend bedrijfsleven, gemeenten & inzameldiensten, sorteerbedrijven en mechanische recyclingbedrijven.

Er bestaan verschillende soorten verbeteringen. Er zijn verbeteringen voor op de korte termijn (nu al aan de gang en mogelijk in minder dan 5 jaar zijn verwezenlijkt), en verbeteringen die op de lange termijn kunnen worden doorgevoerd (>5 jaar). Veel individuele maatregelen worden door enkele ketenschakels afzonderlijk genomen, ook al hebben ze invloed op de prestaties van de hele recyclingketen. Deze studie heeft als doel de consequenties van deze industriële beleidsopties op de hele recyclingketen door te rekenen.

Opgemerkt moet worden dat er naast individuele maatregelen die door enkele ketenpartijen kunnen nemen in een aantal gevallen ook afstemming nodig is tussen verschillende ketenpartijen. Bijvoorbeeld voor het recyclen van PET-schalen zullen deze niet alleen moeten worden gesorteerd, maar zal er ook een recyclingproces voor ontwikkeld moeten worden. Dat noemen we dan meerdere op elkaar afgestemde maatregelen.

In dit rapport worden industriële beleidsopties bestudeerd met één specifieke focus of één specifiek doel per maatregel. In vervolgrapportages zullen visies en grotere strategieën worden gedefinieerd, zoals ‘meer circulair hergebruik’ of ‘meer kostenneutraal hergebruik’. Onder deze beleidsrichtingen of strategieën passen dan verschillende maatregelen met een specifieke focus en deze kunnen elkaar versterken. Het effect van deze maatregelen en het totaaleffect zullen worden ingeschat.

Dit document bevat maatregelen met een specifiek doel. De onderzoekers hebben een objectief en onafhankelijk onderzoek uitgevoerd om deze maatregelen door te rekenen. Alle industriële beleidsopties zijn verzameld in gesprekken met belanghebbenden, interviews met machinebouwers en uit bijdragen in vaktijdschriften. Hierna is de technische haalbaarheid van de maatregel ingeschat en zijn alleen realistische maatregelen, met een bewezen track-record op de grondstof, in beschouwing genomen. Deze maatregelen zijn in de onderstaande lijst samengevat. De maatregelen zijn ingedeeld per ketenpartij en betreffen relatief simpele maatregelen, tot de meer complexe maatregelen.

1. *Design for recycling* maatregelen bij het verpakkend bedrijfsleven.
 - 1.1 Uitbannen PVC verpakkingen en vervangen door PE, PP, PET.
 - 1.2 Uitbannen PS verpakkingen en vervangen door PE, PP, PET.
 - 1.3 Andere zwarte kleurstof gebruiken in kunststof verpakkingen.

- 1.4 Design for recycling maatregelen gericht op meer mono-materialen
- 1.5 Markeertechnologie.
- 2. Inzamelwijzen door de inzameldiensten en of gemeenten.
 - 2.1 PMD inzameling.
 - 2.2a Maximaal nascheiden (capaciteit die nu gebouwd wordt).
 - 2.2b Maximaal nascheiden (100% scenario).
 - 2.3 Bewust inzetten van de bestaande nascheiding-capaciteit.
- 3. Sorteren en recyclen door de sorteer- en recyclingbedrijven.
 - 3.1 Kitkokers uitsorteren.
 - 3.2 Zwarte verpakkingen van de sorteerrest naar de Mix sorteren.
 - 3.3 Maximaal effectief sorteerbeleid stimuleren.
- 4. Sorteren en recyclen door de sorteer- en recyclingbedrijven.
 - 4.1 PE bottle (non-food) recycling.
 - 4.2 Film to film recycling.
 - 4.3 Sorteren en (chemisch) recyclen van PET trays.
 - 4.4 Alternatieve verwerkingsmethoden Mix.
 - 4.5 Magnetische dichtheidsscheiding

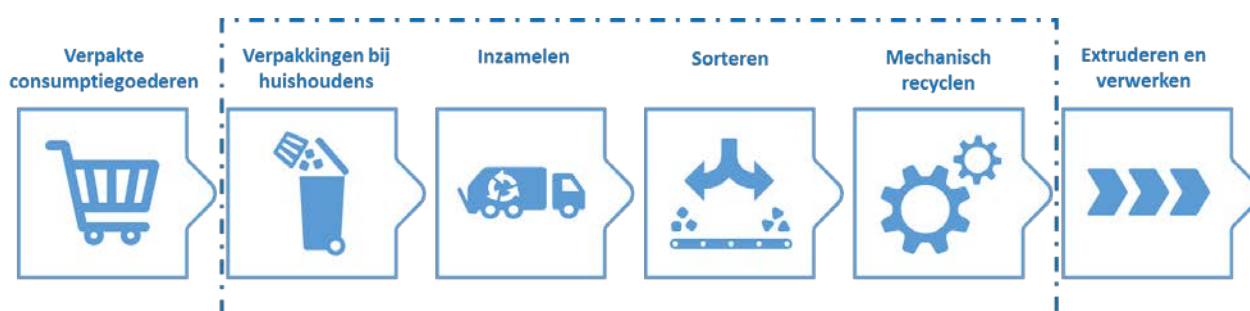
Dit is een openbaar wetenschappelijk rapport dat voor alle betrokkenen en geïnteresseerden bedoeld is. Het geeft inzicht in de effecten van technische maatregelen die individuele belanghebbenden kunnen doorvoeren op de technische prestaties van de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen. De analyse is gebaseerd op een materiaalstroomanalyse van huishoudelijke kunststofverpakkingen en de resultaten daarvan worden weergegeven met de prestatie-indicatoren voor een hergebruikssysteem als het netto-recycling-materiaal-rendement, de geproduceerde hoeveelheden gewassen maalgoed en de polymeer-zuiverheid daarvan. De uitkomsten van het model worden voorzien van berekende fouten.

De resultaten zijn vooral indicatief, omdat de hergebruiksketen in de dagelijkse praktijk door alle belanghebbenden wordt beïnvloed en die invloed lastig is in te schatten. Veel van die veranderingen vinden gelijktijdig en soms ook zonder overleg plaats. Dit maakt dat de effecten van bepaalde maatregelen door belanghebbenden anders kunnen worden gepercipieerd dan de veranderingen die het model kaal uitrekent voor enkelvoudige verbeteropties bij één soort belanghebbende. Zodoende kunnen de resultaten van feitelijke implementatie van een technische verbeteroptie in de praktijk verschillen van hetgeen het model heeft uitgerekend en moeten de resultaten van deze studie vooral richtinggevend worden gebruikt. De in dit rapport gebruikte afkortingen en termen staat uitgelegd in Bijlage A en Bijlage B.

2 Methode en beoordelingscriteria

2.1 Technisch model

In 2016-2017 is er een uitgebreid materiaalstroom-model opgesteld van de recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen in 2014 in Nederland. Dat model beschrijft de inzameling (zowel gescheiden inzameling als nascheiding), sortering en mechanische recycling van huishoudelijke kunststofverpakkingen. De systeemgrenzen zijn: het ontwerp van de verpakkingen zoals ze op de markt worden gezet in termen van materiaalsamenstelling en hoeveelheden en de geproduceerde gewassen maalgoederen (zowel de hoeveelheden als de polymere samenstelling), zie Figuur 1.



Figuur 1: Systeemgrenzen van het rekenmodel.

Het model is gebaseerd op een steekproef van 173 punt-metingen op verschillende plekken in de hergebruiksketen (gedetailleerde sorteeraanlyses van diverse halffabricaten en producten) die met *material flow analysis* en *data reconciliation* technieken zijn verbonden. Dit model is in mei 2017 ingediend voor publicatie en eind oktober 2017 gepubliceerd [Brouwer 2017] samen met uitgebreide technische appendices. Hierin staan spreadsheets die de samenstelling van verpakkingsoorten en tussenproducten beschrijven. In de zomer van 2017 (juni-september) is dit model uitgebreid zodat er ook fouten kunnen worden toegekend aan de prestatie-indicatoren [Picuno 2017]. De uitkomsten van de berekeningen in dit definitieve rapport zijn verricht met dit uitgebreidere model. Deze berekende fouten zijn een resultante van de waargenomen samenstellingsvariaties binnen de halffabricaten in de hergebruiksketen. Deze berekende fouten hebben dus geen betrekking op andere onzekerheden zoals, de structuur van het hergebruiksketen en de uitvoeringswijze van inzamelen, sorteren en recycleren door de betrokkenen.

Het model van de recyclingketen van kunststofverpakkingen in 2014 is gebaseerd op een detailbeschrijving van de samenstelling van de ingaande stromen, halffabricaten en overdrachtscoëfficiënten voor het modelleren van de processtappen. Deze opbouw maakt het mogelijk om zowel de samenstelling van het ingaande materiaal te veranderen als de coëfficiënten die de processtappen modelleren. Hiermee kan het effect van veranderingen in de keten op het ketenresultaat worden geanalyseerd. De industriële beleidsmaatregelen zijn per maatregel in de

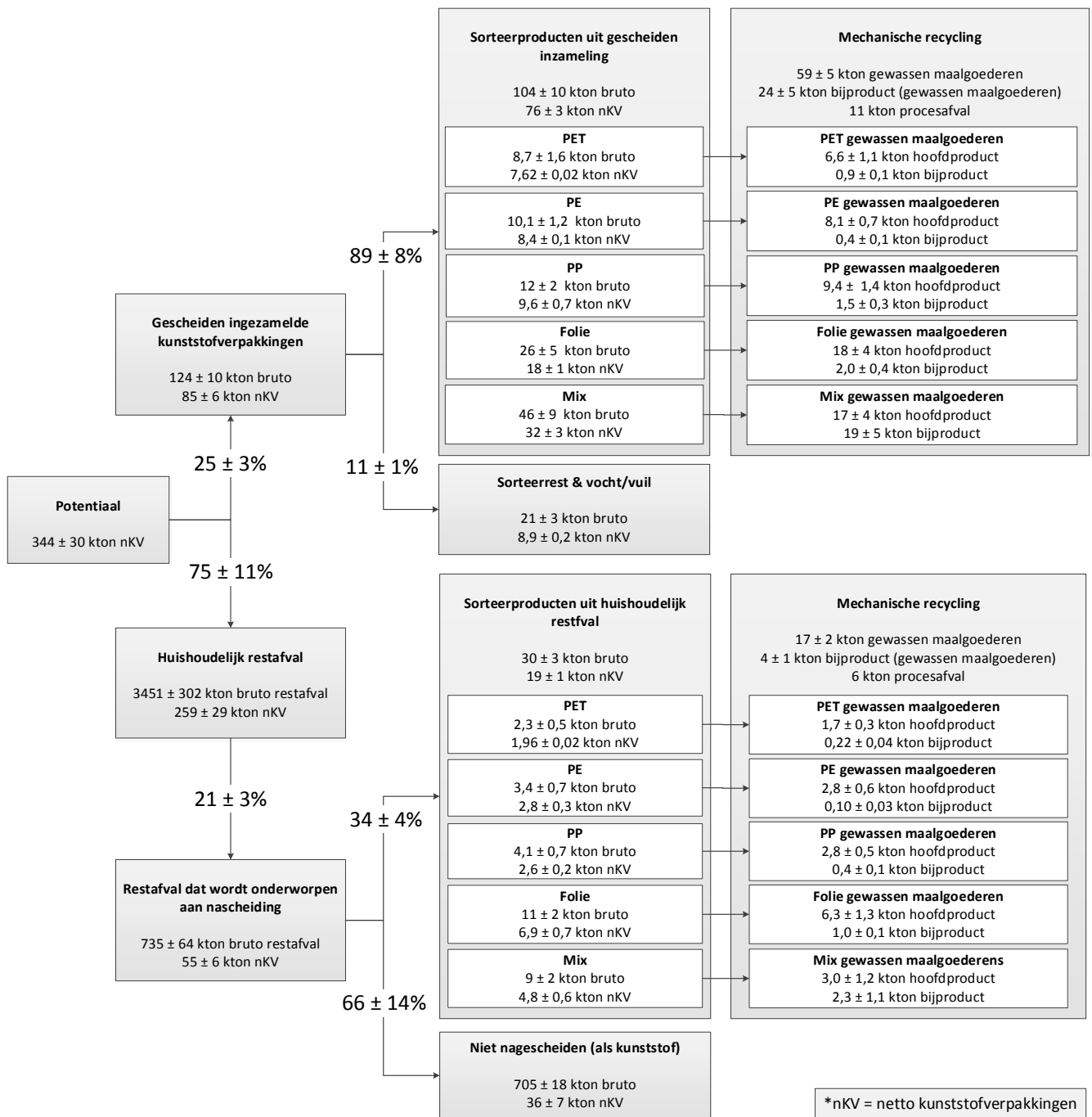
keten gemodelleerd door aanpassingen te maken in het model. Deze aanpassingen zijn per maatregel beschreven in het hoofdstuk “Resultaten”. De aanpassingen (genaamd concretisering van de maatregel) geven een nieuw ketenresultaat, die met de prestatie-indicatoren worden beschreven.

De resultaten van het model worden met twee prestatie-indicatoren beschreven, die de mate van circulariteit van een inzamel & recyclingsysteem weergeven:

- Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen [%],
- Polymeer-zuiverheid van alle producten [%] (als indicatieve maat voor de toepasbaarheid),

In Figuur 2 (volgende pagina) laat het ketenoverzicht van 2014 zien dat het beschrijft. Deze figuur laat zien hoe het gescheiden ingezamelde materiaal en het nagescheiden materiaal via sortering en recycling wordt verwerkt tot gewassen maalgoederen. Het netto recycling-materiaal-rendement voor 2014 werd berekend op $22 \pm 3\%$. Dit is het nettogewicht aan geproduceerde maalgoederen gedeeld door de netto-potentiaal aan kunststofverpakkingen bij de Nederlandse huishoudens. In het geval het nettorendement alleen wordt betrokken op de hoofdproducten (de gewenste maalgoederen) en alleen op verpakkingskunststof dan bedraagt dit rendement $20 \pm 2\%$. Dit rendement wordt gebruikt in deze studie om het effect van de industriële beleidsmaatregelen mee te vergelijken.

Dit rendement is anders dan de in de praktijk gerapporteerde rendementen. In de praktijk worden recyclingrendementen berekend als het brutogewicht van de gesorteerde producten gedeeld door het nettogewicht op de markt gebrachte kunststofverpakkingen. Dit rendement valt hoger uit ($\sim 40\text{-}50\%$) dan de in deze studie berekende rendementen, omdat daarin het gehalte aanhangend vocht en vuil, het aanwezige restafval en andere materialen in het sorteerproduct wel worden meegenomen en de verliezen tijdens het mechanisch recyclingproces niet worden meegenomen. Ook wordt er in de praktijk geen onderscheid gemaakt tussen huishoudelijk en bedrijfsmatige kunststofverpakkingen. In het geval de productie van de bijproducten uit mechanische recycling (zoals het drijfgoed uit het PET sorteerproduct of het zinkgoed uit het PE sorteerproduct) ook worden meegenomen, zou het recyclingrendement ook hoger uitvallen. In deze studie zijn die hoeveelheden niet in het rendement meegenomen, maar ze worden wel besproken waar dit relevant is.



Figuur 2: Ketenoverzicht recyclingketen kunststofverpakkingen in Nederland (2014) volgens het uitgebreidere model van de zomer van 2017.

De kwaliteit van de gewassen maalgoederen wordt voornamelijk bepaald door de polymeer samenstelling. Oftewel het relatieve voorkomen van vreemd-kunststoffen en eventueel andere ongewenste materialen in het maalgoed. In Tabel 1 is de materiaalsamenstelling van de maalgoederen in het model weergegeven.

Tabel 1: Gemodelleerde materiaalsamenstelling van de hoofdproduct gewassen maalgoederen uit gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen (GI) en nagescheiden kunststofverpakkingen (NA) [%]. Ander betekent “Ander kunststof”

	PET	PP	PE	PS	PVC	Papier	Metaal	Glas	Ander	Rest
PET GI	99 ± 22	0,1 ± 0,2	0,07 ± 0,02	0,5 ± 0,2	0,09 ± 0,05	0,07 ± 0,01	0,19 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,26 ± 0,04	0,08 ± 0,01
PET NA	99 ± 28	0,1 ± 0,1	0,06 ± 0,02	0,3 ± 0,2	0,10 ± 0,06	0,09 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,004 ± 0,001	0,09 ± 0,02	0,12 ± 0,02
PE GI	0,02 ± 0,03	10 ± 2	89 ± 11	0,11 ± 0,04	0,05 ± 0,09	0	0	0	0,7 ± 0,1	0
PE NA	0,01 ± 0,02	8 ± 3	91 ± 26	0,05 ± 0,02	0,02 ± 0,04	0	0	0	0,27 ± 0,05	0
PP GI	0,1 ± 0,1	93 ± 20	3,8 ± 1,3	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,6	0	0	0	2,5 ± 0,4	0
PP NA	0,1 ± 0,1	94 ± 24	5 ± 3	0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,6	0	0	0	0,5 ± 0,1	0
Folie GI	0,04 ± 0,06	15 ± 5	82 ± 26	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,3	0	0	0	3,0 ± 0,6	0
Folie NA	0,02 ± 0,03	8 ± 7	82 ± 25	0,01 ± 0,12	0,10 ± 0,15	0	0	0	9,4 ± 1,9	0
Mix GI	0,6 ± 0,9	40 ± 15	48 ± 20	3,9 ± 2,0	1,0 ± 1,5	0	0	0	7,4 ± 1,6	0
Mix NA	0,5 ± 0,8	31 ± 19	63 ± 43	0,2 ± 0,2	0,5 ± 0,7	0	0	0	5,3 ± 2,0	0

2.2 Keuze van de maatregelen

Alle industriële beleidsopties zijn verzameld in gesprekken met belanghebbenden, interviews met machinebouwers en uit bijdragen in vaktijdschriften. Ook kregen de auteurs de beschikking over de lijst van beleidsopties die het KIDV heeft geïdentificeerd in het kader van haar kunststofketen-project [KIDV, 2017].

Alle maatregelen werden eerst intern beoordeeld op de relevantie voor de vraagstelling (kan de maatregel door een ketenpartij worden genomen binnen het systeem en leidt deze maatregel tot een verwachte verbetering van het systeem?) en de technische haalbaarheid. Voor veel nieuwe verwerkingsmogelijkheden bestaat geen openbaar bewijs dat ze functioneren. Toch blijken de meeste betrokkenen zeer goed op de hoogte van de meeste nieuwe opties en hebben ze ervaringen met testen. De opties werden getoetst aan de hand van de technische bewijzen die de betrokkenen konden leveren. Maatregelen waarvan vast stond dat ze nu niet uitvoerbaar zijn werden verworpen. Maatregelen waar twijfel over bestond of ze technisch haalbaar zijn, werden individueel beoordeeld. In het geval meerdere belanghebbenden deze maatregelen toch belangrijk achten en /of op termijn kansrijk achten werden ze meegenomen in de studie.

Een voorbeeld hiervan zijn chemische recycling van MIX. Er is veel onderzoek verricht naar een deel van deze maatregel (het afbreken tot bijvoorbeeld pyrolyseolie) en dat is overtuigend bewezen [Aguado 2008, Al-Salem 2017, Brems 2012]. De tweede stap, het kraken hiervan tot bruikbare monomeren voor kunststoffen is echter nog niet overtuigend bewezen. Toch is dit wel voorstelbaar en daarom wel meegenomen als maatregel.

In het algemeen gesteld worden nieuwe betere, technologieën vrijwel direct geïmplementeerd in de recyclingindustrie mits ze presteren en dus duidelijke voordelen bieden aan de partij die investeert, zonder bijkomende nadelen. Maatregelen die niet direct worden geïmplementeerd, hebben of bijkomende nadelen (bv. hogere kosten of lagere massarendementen), leveren geen tastbaar voordeel aan de partij die zelf investeert (*design-for-recycling*) of vereisen industrie-brede afstemming (markeertechnologie). Juist deze maatregelen zijn de meest interessante maatregelen voor deze studie, want door het transparant maken van de *trade-offs* wordt gedegen oordeelsvorming mogelijk.

2.3 Gebruik van het model

De maatregelen zijn in het model van de kunststofverpakkingsrecyclingketen geconcretiseerd door technische parameters aan te passen in het model. Hoe deze geconcretiseerd zijn, is per maatregel in het resultaat-hoofdstuk uitgelegd. De beleidsopties zijn vervolgens beoordeeld op twee kwantitatieve prestatie-indicatoren en een viertal kwalitatieve criteria. Deze twee prestatie-indicatoren en vier beoordelingscriteria zijn hieronder verder toegelicht. Bij de beoordeling wordt vergeleken met de referentie-situatie, de recyclingketen van kunststofverpakkingen in Nederland in 2014 (zie paragraaf 2.1). Dit is het laatste jaar waar betrouwbare en volledige informatie over bestaat.

Twee kwantitatieve prestatie-indicatoren voor de mate van circulariteit van de recyclingketen

Twee prestatie-indicatoren worden gebruikt om de mate van circulariteit van een inzamel- en recyclingsysteem te kwantificeren.

1. Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen. Als kwantitatieve maatstaf van circulariteit is het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen het meest geëigend. Deze maatstaf maakt duidelijk hoeveel van het materiaal dat aanwezig was bij de huishoudens ook daadwerkelijk beschikbaar komt als recyclelaar. Deze indicator wordt berekend met het model van de kunststofverpakkingsrecyclingketen door de netto-hoeveelheden kunststofverpakkingsmateriaal in de hoofdproducten te delen door het netto-potentiaal materiaal van huishoudelijke kunststofverpakkingen. De hoofdproducten zijn de drijvende fracties van de sorteerproducten PE, PP, Film en Mix en de zinkende fracties van de sorteerproducten PET en PET-schalen. De bijproducten zijn de zinkende fracties van de sorteerproducten PE, PP, Film en Mix en de drijvende fracties van de sorteerproducten PET en PET-schalen.
2. Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten. Als kwantitatieve maatstaf voor de kwaliteit het gewassen maalgoed gebruiken wij de gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten. Dit is een directe uitkomst van het model en geeft indirect inzicht in de gebruiksmogelijkheden van de hoofdproducten. Bewust wordt het gemiddelde en niet het gewogen gemiddelde berekend, zodat het effect op alle kunststofproducten op een

gelijke manier wordt beoordeeld en veranderingen in de kleinere producten ook zichtbaar blijven. Omdat er in sommige gevallen behoefte is om juist de veranderingen in de polymeer-zuiverheid van de waarde-producten (PET, PE, PP) of juist de bijproducten uit te lichten, worden deze waarden in sommige gevallen additioneel gerapporteerd. Voor de bepaling van de polymeer-zuiverheid gaan we er van uit dat de gewenste kunststoffen in de hoofdproducten zijn: PET in PET en PET schalen, PE in PE, PP in PP, PE in Film en PE en PP in Mix.

Vier kwalitatieve beoordelingscriteria voor de recyclingketen

3. Toepasbaarheid van de hoofdproducten. Dit beoordelingscriterium is een kwalitatieve interpretatie van de met het model berekende polymeer-zuiverheden van de hoofdproducten. Hierbij ligt de nadruk op het nagaan of de maatregel meer circulair hergebruik van de hoofdproducten mogelijk maakt. Voor enkele specifieke maatregelen wordt eveneens de toepasbaarheid van de bijproducten beoordeeld.
4. Financiële effecten van de maatregel. Bij dit criterium wordt een inschatting gemaakt of er financiële effecten zijn en voor welke belanghebbende dit dan geldt. In potentie kan het hier dus gaan om zowel additionele kosten als additionele opbrengsten ten opzichte van het referentiemodel van 2014. Typische financiële effecten zijn investeringskosten, extra inkomsten uit de verkoop van meer product of zuiverder sorteerproduct, hogere vergoedingen omdat er meer sorteerproducten zijn verhandeld, etc.
5. Acceptatie van de maatregel. Dit criterium is een kwalitatieve inschatting van de acceptatie van de maatregel door de belanghebbenden. Hierbij wordt ingeschat of de maatregel invloed heeft op de werkprocessen van andere ketenspelers en belanghebbenden en of dit een gewenste of ongewenste invloed is. Verder wordt hierbij betrokken of deze maatregel door één ketenspeler kan worden genomen en ingevoerd of dat het noodzakelijk is dat er eerst met een groep belanghebbenden tot gezamenlijke overeenstemming moet worden gekomen.
6. Technische gereedheid. Bij dit criterium wordt er een inschatting gemaakt van de technische gereedheid van de maatregel. Oftewel, er zal kwalitatief worden ingeschat of de maatregel een ‘*turn-key solution*’ is of dat er nog een aanzienlijke ontwikkelingstijd nodig is.

Alle gekozen maatregelen worden beoordeeld aan de hand van de twee prestatie-indicatoren en vier criteria. De twee technische prestatie-indicatoren kunnen relatief precies worden ingeschat met het model. Het zijn immers uitgerekende uitkomsten van het model, terwijl de vier andere beoordelingscriteria, zoals de financiële effecten en de acceptatie van de maatregelen, inschattingen zijn.

De twee prestatie-indicatoren zijn berekende model-uitkomsten, die samen met de bijbehorende fout worden berekend. De fout in de uitkomsten van model wordt ook voor de maatregelen berekend. Deze laatste fout houdt geen rekening met onzekerheid in de aanpassing van de

technische parameters en dus heeft deze fout slechts indicatieve waarde. Ook heeft deze berekende fout betrekking op dit model, de daarin gemaakte veronderstellingen en de specifieke uitvoeringswijze van recycling zoals die door dit model worden beschreven.

In het volgende hoofdstuk wordt per maatregel de concretisering van de maatregelen in het model door de keuze van aangepaste parameters besproken en vervolgens de resultaten aan de hand van de beoordelingscriteria.

2.4 Consultatie van belanghebbenden

Tussen juni en augustus 2017 hebben we de voorlopige resultaten in een conceptrapport gedeeld met een groep belanghebbenden en hen om een reactie gevraagd. Met 8 belanghebbenden hebben we een uitgebreid gesprek gehad over de betekenis en de duiding van deze resultaten, zie Tabel 1. Ook hebben wij bij hen geverifieerd of wij inderdaad alle relevante technische maatregelen hadden verzameld en besproken. Het commentaar is verwerkt in de definitieve versie van dit rapport. Vervolgens zijn er aanvullende modelberekeningen gemaakt om de veranderingen die volgens de belanghebbenden plaats hebben gevonden tussen 2015 en 2017 beter te begrijpen, deze resultaten worden in Hoofdstuk 4 gepresenteerd en besproken. Dit is een verdere verrijking voor de interpretatie van de resultaten van het model en relativeert de effecten die met de technische verbetermogelijkheden kunnen worden bereikt ten opzichte van de effecten die beleid en incentives op de recyclingketen hebben.

Tabel 1: Belanghebbenden waarmee gesproken is over de conceptresultaten, in chronologische volgorde.

2 juni Dick Hoogendoorn, Vereniging Afvalbedrijven
8 juni Ilse van der Grift en Maarten Goorhuis, NVRD
12 juni Roger Beuting, Van Scherpenzeel
16 juni Belanghebbende van een overheidsinstelling die anoniem wenst te blijven
16 juni Joris van der Meulen, namens Nedvang
19 juni & 25 augustus Tjaco Twigt en Coen Bertens, Stichting Afvalfonds Verpakkingen

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de beleidsmaatregelen één voor één geconcretiseerd en met het model beoordeeld. Dit concretiseren behelst dat voor elke maatregel wordt nagegaan hoe de technische parameters van het hergebruikssysteem waarschijnlijk zullen veranderen. Vervolgens wordt het model doorgerekend en daaruit volgen de resultaten. De maatregelen zijn ingedeeld per ketenpartij en bouwen op van relatief simpele maatregelen, tot de meer complexe maatregelen. In de paragraaf 3.4 wordt een overzicht gegeven van de effecten van de maatregelen effecten.

3.1 Beleidsopties voor het verpakkende bedrijfsleven

Er zijn 5 beleidsopties voor het verpakkende bedrijfsleven gedefinieerd. Deze zijn:

1. Uitbannen PVC verpakkingen en vervangen door PE, PP, PET.
2. Uitbannen PS verpakkingen en vervangen door PE, PP, PET.
3. Andere zwarte kleurstof gebruiken in kunststof-verpakkingen.
4. *Design for recycling* maatregelen gericht op verpakkingen van mono-materialen.
5. Gericht toepassen van markeertechnologie.

3.1.1 *Uitbannen PVC-verpakkingen.*

De beleidsoptie “uitbannen van PVC verpakkingen” wordt hier beschouwd als een maatregel die de verpakkende industrie zelf zou oppakken en uitvoeren. Deze beleidsoptie wordt geconcretiseerd door in het rekenmodel de volgende aanpassingen door te voeren.

1. Alle PVC-verpakkingen worden in de samenstellingslijsten van het model vervangen door, PE, PP of PET.
 - a. PVC-folie wordt PE-folie,
 - b. PVC vormvaste verpakkingen worden PP en PET vormvaste verpakkingen met de huidige marktverdeling als verdeelsleutel,
 - c. Andere flacons worden PE en PET flacons met de huidige marktverdeling als verdeelsleutel,
 - d. PVC-Doordrukstrips worden PP doordrukstrips,
 - e. PVC-laminaten worden PP-laminaten,
 - f. PVC niet-verpakkingen blijven onveranderd.
2. PVC-verpakkingscomponenten van verpakkingen worden in de materiaalsamenstellingslijsten per verpakkingscategorie vervangen door PE. PVC-verpakkingscomponenten komen voor in de volgende verpakkingstypen: PET vormvast, PP vormvast, PE vormvast, PET dieptrek, PP flacons, PE folie, etc. in kleine hoeveelheden, vaak als label of afdekfolie. Deze worden dus door PE vervangen.

1 Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen

Deze maatregel heeft een gering, niet significant effect op het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen, oftewel het rendement stijgt van $20,2 \pm 2\%$ naar $20,6 \pm 2\%$. De hoeveelheden hoofdproduct en bijproduct zijn na het uitbannen van PVC verpakkingen zoals verwacht binnen de fout gelijk aan de hoeveelheden hoofdproduct en bijproduct van het referentiescenario. In het referentiescenario zijn $2,5 \pm 0,6\%$ van de verpakkingen die op de Nederlandse markt worden gebracht PVC verpakkingen. Het percentage PVC verpakkingen in het ingezamelde materiaal is wat lager (ongeveer $2,3 \pm 0,4\%$)² en er is nog een iets groter gehalte PVC-niet-verpakkingen aanwezig in het ingezamelde materiaal. Voor nascheiding liggen deze concentraties iets lager, maar ook in deze stromen zijn PVC-verpakkingen en niet-verpakkingen aanwezig. Het PVC verdeelt zich naar voornamelijk de sorteerrest en de MIX, en ze zijn ook aanwezig in geringe mate in de sorteerproducten van de waarde-producten waar ze polymere contaminant vormen. Door de maatregel zal het gehalte PVC verpakkingen in het ingezamelde en nagescheiden materiaal tot nul dalen, maar de PVC-niet verpakkingen blijven wel gewoon aanwezig.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten blijft na deze maatregel $91 \pm 6\%$. De polymeer-samenstellingen van de hoofd- en bijproducten veranderen namelijk niet significant. De PVC gehalten laten een licht dalende trend zien, maar deze daling is niet significant, zie tabel 2 en 3. Zoals verwacht dalen de PVC-gehalten in geen enkel product naar nul omdat er nog steeds PVC uit niet-verpakkingen in het systeem komen, die zich concentreren in de bijproducten van Mix, PE en PP.

Tabel 2: Gehaltes PVC in de hoofdproducten (maalgoederen) uit bronscheiding (GI) en nascheiding (NA).

	PVC gehalte in hoofdproduct (Referentie) [%]	PVC gehalte in hoofdproduct (Na de maatregel) [%]
PET GI	$0,09 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,05$
PET NA	$0,10 \pm 0,06$	$0,03 \pm 0,05$
PE GI	$0,05 \pm 0,09$	$0,03 \pm 0,06$
PE NA	$0,02 \pm 0,04$	$0,02 \pm 0,03$
PP GI	$0,4 \pm 0,6$	$0,3 \pm 0,5$
PP NA	$0,4 \pm 0,6$	$0,3 \pm 0,5$
Film GI	$0,2 \pm 0,3$	$0,1 \pm 0,2$
Film NA	$0,1 \pm 0,2$	$0,04 \pm 0,07$
Mix GI	$0,1 \pm 1,4$	$0,6 \pm 0,9$
Mix NA	$0,5 \pm 0,7$	$0,2 \pm 0,4$

² Aandeel PVC / Aandeel kunststofverpakkingen in het ingezamelde materiaal. Wanneer men aandeel berekent ten opzicht van het bruto gewicht van het ingezameld materiaal valt dit lager uit, namelijk $1,5 \pm 0,3\%$.

Tabel 3: Gehaltes PVC in de bijproducten (maalgoederen) uit bronscheiding (GI) en nascheiding (NA).

	PVC gehalte in bijproduct (Referentie) [%]	PVC gehalte in bijproduct (Na de maatregel) [%]
PET GI	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,2
PET NA	0,2 ± 0,3	0,1 ± 0,1
PE GI	5 ± 5	2 ± 5
PE NA	3 ± 3	2 ± 3
PP GI	11 ± 5	9 ± 5
PP NA	11 ± 5	9 ± 5
Film GI	8 ± 4	6 ± 4
Film NA	3 ± 1	1 ± 1
Mix GI	4 ± 2	2 ± 1
Mix NA	3 ± 2	1 ± 1

3 Toepasbaarheid hoofdproducten en bijproducten

Ondanks dat de hoofdproducten iets minder PVC bevatten, is de verandering zo gering dat het geen effect heeft op de toepasbaarheid van de hoofdproducten.

Voor de meeste bijproducten zijn de dalingen in het PVC-gehalte iets groter. Toch daalt het PVC-gehalte in geen enkel bijproduct (behoudens die uit PET) onder de 1% en kunnen de bijproducten dus nog steeds niet als materiaal worden hergebruikt. Deze bijproducten zullen dus nog steeds als afval moeten worden verwijderd en worden dus nog steeds verbrand.

De reden waarom de PVC-gehalten niet voldoende dalen, is dat er nog steeds PVC niet-verpakkingen met de kunststofverpakkingen worden mee-ingezameld en mee-nagescheiden.

Beleid dat zich beperkt tot verpakkingen kan dus in dit geval geen verschil maken dat wezenlijk is voor de recyclingindustrie.

4 Financiële effecten

Er worden alleen financiële effecten verwacht voor de verpakkende industrie omdat de vervangende kunststoffen iets duurder zijn. De andere financiële effecten worden verwaarloosbaar geacht.

De additionele vervangingskosten voor de verpakkende industrie kunnen worden ingeschat met het totaal volume aan PVC verpakkingen en het verschil in prijspeil tussen PVC en PE, PP en PET. Het prijspeil van nieuw-PVC ligt grofweg 150 €/ton lager dan dat van nieuw PE, PP of PET [website Vraagenaanbod 8 september 2017] en dus zal het vervangen van 8.4 ± 2 kton aan PVC verpakkingen dus grofweg zo'n 1,3 M€/jaar extra kosten. De feitelijke vervangingskosten kunnen hoger uitpakken door dichtheidseffecten, additionele verwerkingskosten en wanneer verpakkingsapparatuur moet worden vervangen.

Een mogelijke kostenpost voor de retail-organisaties zijn veranderingskosten van de inkoopprocessen, zodat er geen PVC-verpakkingen meer op de Nederlandse markt verschijnen. Dit moet niet alleen in de inkoopspecificaties worden opgenomen. Het moet ook gecontroleerd worden. Hiertoe zijn niet alle retail-organisaties op dit moment in staat. De hiermee gemoeide veranderingskosten zijn niet in te schatten.

Er worden geen financiële effecten op de opbrengsten of afzetkosten van de sorteerproducten verwacht. Omdat de samenstelling van de hoofdproducten nauwelijks verandert, zal de verkoopprijs hiervan ook niet of nauwelijks veranderen. Evenzo verandert de samenstelling van de bijproducten onvoldoende om deze een positieve waarde te geven, ze zullen nog steeds als afval moeten worden afgezet. Dus de opbrengsten van de verkoop van sorteerproducten en afzetkosten voor de sorteerproducten met een negatieve waarde zullen nauwelijks veranderen.

Van de maatregel “PVC verpakkingen uitbannen” zal niemand duidelijk profiteren, wel zullen de kosten voor het verpakkend bedrijfsleven met tenminste 1,3 M€/ jaar stijgen. Pas in het onwaarschijnlijke³ geval er ook geen PVC zou worden toegepast in de niet-verpakkingen, mag verwacht worden dat de samenstellingen van de hoofdproducten dusdanig verbeteren dat de prijzen licht stijgen. Bovendien zullen dan de bijproducten niet meer als afvalstroom verbrand moeten worden tegen hoge kosten, maar kunnen dan tegen geringe vergoedingen worden afgezet ter recyclage. Dus pas in het onwaarschijnlijke geval ook de niet-verpakkingen niet meer van PVC worden gemaakt, zullen de recyclingbedrijven profiteren.

5 Acceptatie van de maatregel.

Elke maatregel die de concentratie PVC in gesorteerde kunststofproducten vermindert, wordt enthousiast door recyclingbedrijven ontvangen, omdat PVC een nadelig effect heeft op alle gerecycleerde kunststoffen die van huishoudelijke verpakkingen worden gemaakt en ook een financieel aantrekkelijke afzet van de bijproducten onmogelijk maakt. De acceptatie van deze maatregel is dus hoog bij sorteer- en recyclingbedrijven. Want zij zullen elke stap als een verbeterstap zien, ook al zal het uitbannen van alleen PVC verpakkingen geen wezenlijke verbetering opleveren voor hun bedrijf.

De acceptatie zal beperkt zijn bij de kunststof-producerende industrie.

De acceptatie zal laag zijn bij de verpakkende industrie, vanwege de meerkosten, mogelijke vervanging van verpakkingsmachines en de benodigde veranderingen in de werkprocessen van inkoop en controles op ingekochte waren.

Tegenstand kan worden verwacht van het verpakkend bedrijfsleven voor een paar verse groenten en vanuit de farmacie. Er is nog een beperkt aantal levensmiddelen waarvan beweerd wordt dat

³ *Onwaarschijnlijk omdat PVC een heel geschikt materiaal is voor een veelheid van toepassingen, dat niet makkelijk vervangen kan worden door andere materialen.*

PVC een meerwaarde heeft en zorgt voor een langere houdbaarheid: bijzondere paddenstoelen en spruitgroente als taugé. De verpakkende industrie voor deze producten zou het uitbannen van PVC als problematisch zien. Zij zullen beargumenteren dat een verbod op PVC meer voedselverspilling oplevert in de praktijk en dus zich zal vertalen in een grotere milieubelasting. Ook zijn er medicijnen waarvan de toelating tot de markt gekoppeld is aan het verpakkingsmateriaal dat gebruikt worden, dus: PVC doordrukstrips. Formeel mogen die niet in een ander verpakkingsmiddel worden verkocht, tenzij de dure toelatingsprocedure wordt herhaald met een ander verpakkingsmateriaal [KIDV 2014].

6 Technische gereedheid

Voor de meeste verpakkingen kan PVC direct worden vervangen door andere kunststoffen als PET, PE en PP. Voor een beperkt aantal verpakkingen lijkt dit voorlopig nog niet te kunnen. Een groter probleem lijken de inkoopprocessen bij retail-bedrijven te zijn. Lang niet bij al deze bedrijven is het verpakkingsmateriaal gedefinieerd in de inkoopvoorwaarden. Als het verpakkingsmateriaal wel is gespecificeerd wordt er middels de conformiteitsverklaringen verwacht dat het voldoet aan de eisen. Echter er is slechts bij heel grote uitzondering een feitelijke controle op de aard van het gebruikte verpakkingsmateriaal. Met de internationale toeleveringsketens is er daarmee een steeds groter risico op de insleep van PVC-verpakkingen. Immers buiten Noordwest Europa is het gebruik van PVC in verpakkingen nog gangbaar en wordt het zelfs als een kosteneffectieve oplossing gezien. Om deze maatregel te laten welslagen is het dus nodig dat retail-bedrijven niet alleen eisen stellen ten aanzien van verpakkingsmaterialen maar ook dit controleren en verifiëren. Dit laatste lijkt vooralsnog de grootste drempel voor de implementatie.

3.1.2 Uitbannen PS-verpakkingen.

Ook deze industriële beleids optie wordt beschouwd als een maatregel die de verpakkende industrie zelf kan nemen om het hergebruik van kunststofverpakkingen te verbeteren.

Deze beleids optie wordt geconcretiseerd door in het rekenmodel de volgende aanpassingen door te voeren.

1. Alle PS-verpakkingen worden in de samenstellingslijsten van het model vervangen door andere materialen.
 - a. EPS (piepschuim) schalen worden vervangen door PET schalen,
 - b. EPS (piepschuim) blokken worden vervangen door geperst karton, vouwkarton (andere doosconstructie), of eventueel opgeblazen plastic zakken (PE folie). Vooralsnog gaan we er vanuit dat dit vervangen wordt door karton-achtige materialen, die niet met het kunststof worden ingezameld, maar met het oud-papier. Zodoende wordt de bijdrage van piepschuimblokken uit het model verwijderd,
 - c. Drankflessen PS worden vervangen door PET flessen < 0,5 L transparant,

- d. PS dieptrekverpakkingen worden vervangen door PET, PE, PP in huidige marktverdeling,
 - e. PS vormvast wordt vervangen door PET, PE, PP in huidige marktverdeling,
 - f. PS folie wordt vervangen door PE folie,
 - g. PS niet-verpakkingen blijven onveranderd.
2. In de samenstellingslijsten van verpakkingen valt op dat PS voornamelijk als etiket materiaal wordt toegepast. De PS labels worden vervangen door label van zelfde materiaal als verpakking. (Behalve voor PVC, dat wordt een PP label),

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen blijft binnen de onzekerheidsmarge gelijk aan die van het basismodel, het stijgt van $20,2 \pm 2\%$ naar $20,6 \pm 2\%$. Zoals verwacht zijn de hoeveelheden hoofdproduct en bijproduct na het uitbannen van PS verpakkingen binnen de fout gelijk aan de hoeveelheden hoofdproduct en bijproduct van het basismodel. Dit was verwacht omdat er maar relatief weinig PS verpakkingen op de Nederlandse markt zijn.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten blijft binnen de onzekerheid gelijk aan de $91 \pm 6\%$ na het uitbannen van de PS-verpakkingen. De PS-gehalten van de hoofdproducten waren sowieso al laag (doorgaans onder de 0,5%) en de verschuivingen ten gevolge van de maatregel zijn dus te klein om significant te zijn. Het hoogste PS-gehalte wordt voorspeld voor het drijvend product uit gescheiden ingezamelde en gesorteerde Mix, namelijk $4 \pm 2\%$. Dit gehalte daalt nauwelijks na het uitbannen van de PS verpakkingen. In de polymeer-samenstelling van de bijproducten zijn wel kleine reducties in PS gehalte van 0 tot 4% waar te nemen, zie tabel 4. De reden waarom de PS-gehalten in de hoofd- en bijproducten niet of beperkt dalen na het uitbannen van de PS-verpakkingen is dat er relatief veel PS niet-verpakkingen worden ingezameld en nagescheiden.

Tabel 4: Gehaltes PS in de bijproducten (maalgoederen) uit bronscheiding (GI) en nascheiding (NA).

	Referentie [%]	Na de maatregel [%]
PET GI	$0,7 \pm 0,3$	$0,4 \pm 0,3$
PET NA	$0,4 \pm 0,4$	$0,4 \pm 0,4$
PE GI	11 ± 4	6 ± 4
PE NA	6 ± 3	6 ± 3
PP GI	6 ± 3	3 ± 3
PP NA	4 ± 4	2 ± 4
Film GI	14 ± 7	7 ± 6
Film NA	$0,5 \pm 4$	$0,2 \pm 4$
Mix GI	17 ± 9	8 ± 8
Mix NA	$1,3 \pm 1,5$	$0,4 \pm 1,4$

3 Toepasbaarheid hoofdproducten en bijproducten

De polymeer-samenstelling van de hoofdproducten is nauwelijks veranderd en dus is het effect op de toepasbaarheid verwaarloosbaar. De polymeer-samenstelling van de bijproducten bevat in enkele gevallen wel iets minder PS, maar omdat de aanwezigheid van PVC er voor zorgt dat deze materialen als afval moeten worden verbrand, verandert de toepasbaarheid niet.

4. Financiële effecten

Omdat het uitbannen van PS verpakkingen verwaarloosbare effecten heeft op het netto-ketenrendement en de gemiddelde polymeer-zuiverheid, zal het ook verwaarloosbare effecten hebben op de keten van inzameling tot recycling. Alleen de verpakkende industrie zal beperkte financiële effecten van deze maatregel ervaren.

De verpakkende industrie zal een beperkt financieel voordeel kunnen ervaren van het uitbannen van PS verpakkingen. Het prijspeil van nieuw-PS ligt immers grofweg 250 €/ton hoger dan dat van nieuw PE, PP of PET [website Vraagenaanbod 8 september 2017] en dus zal het vervangen van $8,6 \pm 2$ kton aan PS verpakkingen dus grofweg zo'n 2,1 M€/jaar kunnen opleveren. De feitelijke vervangingskosten zullen lager uitpakken door dichtheidseffecten, additionele verwerkingskosten en het eventueel vervangen van verpakkingsapparatuur.

Verwacht mag worden dat het verpakkend bedrijfsleven de financiële voordelen van het overstappen van het nu relatief dure PS naar het nu goedkopere PET, PE of PP zal zien. Alleen als deze overstap ook betekent dat dure verpakkingsmachines moeten worden vervangen, dan zal er gewacht worden totdat deze machines vervangen moeten worden.

5 Acceptatie van de maatregel.

Alhoewel recyclingbedrijven voorstander zijn van het gebruik van drie basis-polymeren voor kunststof-verpakkingen en dus herontwerp van PS naar PE, PP of PET zullen goedkeuren, zullen er toch weinig bedrijven echt heel enthousiast worden van de maatregel. De enige uitzondering is mogelijk het verpakkend bedrijfsleven die hiermee hun verpakkingskosten kunnen besparen. Zodoende zullen die PS-verpakkingen die zonder meerkosten vervangen kunnen worden, waarschijnlijk ook vervangen worden. Omdat de verwachte effecten van het uitbannen van PS verpakkingen op de recyclingketen gering zijn, zullen de recyclingbedrijven hier nauwelijks het voordeel van inzien. Net als bij PVC, geldt ook voor PS, dat een aanzienlijk deel van het materiaal door de niet-verpakkingen in de recyclingketen wordt gebracht. En aangezien het niet verwacht kan worden dat de producenten van kunststof-gebruiksartikelen hun materialen zullen aanpassen ten faveure van een beter functionerend verpakkingshergebruikstelsel, zal dit voorlopig ook wel zo blijven.

6 Technische gereedheid.

De meeste PS-verpakkingen kunnen direct vervangen worden door verpakkingen gemaakt van andere kunststoffen als PET, PE en PP of karton. Er is ons geen PS-verpakking bekend waar

geen alternatief voor bestaat. Aangezien dit potentieel financieel voordelig is voor het verpakkend bedrijfsleven, is de verwachting dat dit ook vanzelf plaats vindt, zolang er geen verborgen barrières zijn als dure verpakkingsmachines die dan gelijktijdig vervangen zouden moeten worden.

3.1.3 *Andere zwarte kleurstof.*

Volgens Edward Kosior van Nextek is het ‘zwarte verpakkingsprobleem’ gemakkelijk op te lossen door in plaats van *carbon black* (roet) een andere mix van zwarte kleurstoffen te gebruiken, die wel er zwart uitziet in het zichtbare licht, maar niet alle infraroodstraling absorberen. Hij heeft daar verschillende testen mee gedaan en presentaties over gegeven en dat oogt betrouwbaar [Kosior 2017]. Nadeel van deze oplossing is dat deze andere mix van zwarte kleurstoffen uiteraard iets duurder is dan het goedkope *carbon black*. Daarnaast is deze informatie nog niet gekend bij compoudeurs.

Deze beleidsoptie wordt geconcretiseerd door in het rekenmodel de volgende aanpassingen door te voeren.

1. Alle vormvaste niet-NIR herkenbare verpakkingen worden in de samenstellingslijsten van het model vervangen door vormvast PE, PP of PET met de huidige marktverdeling als verdeelsleutel.
2. Alle flexibele niet-NIR herkenbare verpakkingen worden in de samenstellingslijsten van het model vervangen door PE folie.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt van $20 \pm 2\%$ naar $22 \pm 2\%$. De totale hoeveelheid hoofdproducten stijgt van 75 ± 6 kton naar 81 ± 6 kton.

2 Gemiddelde polymere zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid stijgt van $91 \pm 6\%$ naar $94 \pm 5\%$ door de maatregel, een verbetering die niet significant is. Deze verandering wordt mede veroorzaakt doordat de zwarte kunststoffen in het gewassen maalgoed nu worden meegerekend als hoofdpolymeer, en niet meer als een vreemd-kunststof. Drie hoofdproducten bevatten in het referentie-model de meeste zwarte kunststoffen en hiervan verbetert de polymeer-zuiverheid door de maatregel in beperkte mate: PP, Film en Mix.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten

Van twee hoofdproducten (gewassen maalgoederen uit PET en PE) blijft de polymeer-zuiverheid gelijk en is de toepasbaarheid onveranderd.

4 Financiële effecten

Vier verschillende financiële effecten worden verwacht:

1. Additionele kosten voor de verpakkingindustrie en de verpakkende industrie voor de nieuwe kleurstof,
2. Een kleine invloed op de kostenbalans bij het sorteerbeidrijf,
3. Een beperkte kostendaling bij de recyclingbedrijven omdat er meer product en minder afval wordt geproduceerd,
4. Een hogere vergoeding voor het Afvalfonds, omdat er meer sorteerproduct wordt afgezet.

Ad 1. De zwarte verpakkingen zullen moeten worden ingekleurd met een andere, waarschijnlijk duurdere kleurstof. De meerprijs is niet openbaar, dus kunnen de hogere kosten voor het verpakkend bedrijfsleven niet worden berekend. Maar zelfs als die meerprijs gering is, kunnen de totale kosten oplopen, doordat het bijna 19 kton materiaal betreft. Dus een meerprijs van 1 Eurocent per kilo verpakkingsmateriaal vertaalt zich al in 190.000 €/jaar.

Ad 2. De verdeling van sorteerproducten zal iets veranderen. Er zullen minder zwarte verpakkingen in de sorteerrest terechtkomen, en juist meer in de sorteerproducten (PET, PE, PP, Film en Mix). De modelberekening laat zien de verdeling tussen de sorteerproducten zelf weinig verandert. Doordat er iets meer Mix zal moeten worden afgezet en minder sorteerrest zal het netto financiële effect gering zijn.

Ad 3. De kostenbalans voor de recyclingbedrijven zal nauwelijks verbeteren, of onveranderd blijven.

Ad 4. Er zal ongeveer 4 à 5 kiloton meer sorteerproduct worden afgezet, waardoor het Afvalfonds zo'n 3 à 4 M€ extra aan vergoedingen zal betalen.

5 Acceptatie van de maatregel.

De introductie van NIR-sorteerbare zwarte verpakkingen zal met instemming worden begroet door de sorteerbeidrijven en de recyclingbedrijven. Terwijl compoundeurs, verpakkingsproducenten en verpakkend bedrijfsleven hiervan meerkosten zullen ervaren en iets minder enthousiast zullen zijn.

6 Technische gereedheid

Deze maatregel lijkt technisch volwassen, op basis van de informatie die door Nextek wordt verspreid. Zodoende kan deze maatregel eenvoudig door het verpakkend bedrijfsleven zelf, samen met de leveranciers worden ingevoerd.

3.1.4 Design for recycling maatregelen gericht op meer mono-materialen

Er zijn heel veel *design-for-recycling* maatregelen denkbaar die de verpakkende industrie zelf zou kunnen nemen om meer mono-materiaal-verpakkingen op de markt te zetten en daarmee de

hergebruiksketen te ontlasten. Deze maatregelen lopen sterk uiteen. Een eenvoudige uitvoeringsvorm van *design-for-recycling* is het veranderen van het dopmateriaal, zodat het beter past bij het materiaal van het fleslichaam. De meest uitgebreide vorm van *design-for-recycling* komt van de EU plastic strategie [EU COM 2018] die op roept om alle kunststof-verpakkingen voor 2030 recyclebaar of herbruikbaar te maken. Het is niet eenvoudig om al deze maatregelen te concretiseren in het model. Voor eenvoudige *design-for-recycling* maatregelen kunnen nog de materiaal-samenstellingstabellen per verpakkingstype worden aangepast. De maatregel die de EU plastic strategie voorstelt is echter veel lastiger te concretiseren, omdat onduidelijk is wat er met slecht recyclebare laminaat-folies, doordrukstrips, etc. moet gaan gebeuren. Zodoende worden verschillende design-maatregelen onderzocht die wel kunnen worden gemodelleerd en die in groepen worden uitgerekend (van eenvoudig tot uitgebreid):

- A. Reductie van vreemd-kunststoffen in verpakkingen door meer verpakkingen te ontwerpen van mono-materialen,
- B. Alleen nog maar verpakkingen van mono-materialen,
- C. Mono-materiaal verpakkingen met indirecte verbeteringen op het sorteerproces en het recyclingproces
 1. +10% beter sorteren
 2. +20% beter sorteren
 3. +20% beter sorteren en hogere overdrachtscoëfficiënten

Dit laatste scenario is nodig omdat er verwacht mag worden dat mono-materiaal-verpakkingen een sterk positief effect zullen hebben op zowel het sorteer- als het recyclingproces. Omdat deze effecten niet van tevoren kunnen worden ingeschat, worden ze als volgt ingeschat. Het sorteergedrag wordt met 2 scenario's ingeschat: 10% beter en 20% beter. Dit betekent dat de verpakkingen dus voor dat percentage meer in het juiste sorteerproduct terechtkomen en gelijkmatig minder in de verkeerde categorieën. Het verbeterde recyclingproces wordt doorgerekend op basis van meer optimale overdrachtscoëfficiënten.

A. Reductie vreemd-kunststoffen in verpakkingen door meer mono-materiaal verpakkingen.

In deze beleids optie wordt er een hele reeks ontwerpbeslissingen genomen door het verpakkende bedrijfsleven, die in het algemeen neer komen op meer verpakkingen van mono-materialen, makkelijker te verwijderen labels en / of minder inktgebruik en minder labels. Deze beleids optie is geconcretiseerd in de materiaalsamenstellingslijsten van alle verpakkingscategorieën. In de onderstaande opsomming is aangegeven hoe deze veranderingen in materiaalsamenstellingslijsten zijn verwerkt per categorie:

- PET flessen. Geen PS en papieren labels meer. Ook geen metalen componenten meer als kroonkurken, dopjes, lipjes. De labels worden vervangen door PP labels. De metalen componenten worden vervangen voor PE. Zwarte doppen (vaak PE) worden vervangen door licht gekleurd en dus wel herkenbaar PE.

- PE flessen. De PET, PS en papieren labels worden vervangen door PE labels. Metalen verpakkingscomponenten worden vervangen door PE en zwarte kunststof componenten worden vervangen door wel herkenbare PE.
- PP flessen. De PS labels worden vervangen door PP labels.
- PET flacons. De PS en papieren labels worden vervangen door PP labels. Geen handpompjes meer waarin ongewenste kunststoffen, glas en metaal was verwerkt.
- PE flacons. De PS, PVC en papieren labels worden vervangen door PE labels. Metalen doppen worden vervangen door PE. Zwarte doppen worden vervangen door herkenbaar PE.
- PP flacons. PVC en papieren labels worden vervangen door PP labels. Metalen doppen worden vervangen door PP.
- Alle dieptrekverpakkingen verpakkingen worden gemaakt van mono-materialen.
- PET vormvast. PVC folie wordt vervangen door PE folie. Papieren labels worden vervangen door PE labels. Zwarte materialen worden gemaakt van herkenbaar PE.
- PE vormvast. Alle onderdelen van PVC, papier en metaal worden vervangen door PE.
- PP vormvast. Alle onderdelen van PET, PVC, PS, papier en metaal worden vervangen door PP.
- PVC vormvast. Alle onderdelen van andere materialen worden vervangen door PVC.
- PS vormvast. Alle onderdelen van andere materialen worden vervangen door PS.
- Folies. De papieren labels worden vervangen door PE labels en directe bedrukking op het folie.

B. Alle verpakkingen mono-materialen

Deze maatregel is geconcretiseerd in de materiaalsamenstellingslijst. In plaats van het vervangen van de bestaande materialen zijn de verpakkingstypen opgebouwd uit maar één of twee materialen. Dit scenario moet het effect van mono-materiaal-verpakkingen weergeven. Deze materiaalsamenstellingen van verpakkingen zijn fictief en gebaseerd op de verhoudingen in de oorspronkelijke samenstellingen.

- PET flessen. Voor de grote PET flessen is het PET-gehalte verhoogd naar 94% PET en het PE-gehalte naar 6% PE. Voor de kleine flessen is dit 90% PET en 10% PE.
- PE flessen, PP flessen en PS flessen zijn gezet op 100% het hoofdmateriaal.
- PET flacons zijn gezet op 90% PET, 10% PP.
- PE flacons en PP flacons zijn gezet op 98% hoofdmateriaal en 2% PP/PE.
- Alle dieptrekverpakkingen zijn gezet op 100% hoofdmateriaal.
- PET vormvast is gezet op 95% PET, 5% PE.
- PE vormvast is gezet op 95% PE, 2% PP.
- PP vormvast is gezet op 95% PP en 5% PET.
- PVC vormvast is gezet op 100% hoofdmateriaal.
- PS vormvast is gezet op 96% PS, 2% PP en 1%PE.

- Draagtasjes en alle folies zijn gezet op 100% hoofdmateriaal.
- De overige verpakkingstypen zijn in samenstelling gelijk gebleven.

C1 en C2 Mono-materiaalverpakkingen met een efficiënter sorteerproces.

Doordat de verpakkingen meer van hetzelfde materiaal zijn gemaakt, zullen er ook minder foutieve sorteerbevestigingen worden genomen door de NIR sorteermachines. Dit schatten wij in met twee staffels van 10% verbetering waarmee verpakkingen in de juiste categorie en dus niet meer in de foute categorie worden gesorteerd. Verondersteld wordt dat restafval en niet-verpakkingen op dezelfde wijze zal worden gesorteerd.

C3 Mono-materiaal verpakkingen met een efficiënter sorteer- en recyclingproces.

Verwacht mag worden dat als verpakkingen uit minder verschillende kunststoffen bestaan, dat dan ook het recyclingproces vereenvoudigd en dat er minder verliezen zullen optreden bij het drijf-zink-scheiden. Dit hebben wij vertaald in hogere overdrachtscoëfficiënten voor dit proces. Deze staan in Tabel 5 gemeld. Dit scenario is dus een combinatie van beter sorteren met 20% en beter recyclen.

Tabel 5: De nieuwe overdrachtscoëfficiënten waarmee gerekend zal worden, [%].

	PET	PP	PE	PS	PVC	Papier	Metaal	Glas	Andere plastics, zwart, etc.	Andere materialen, rest incl. textiel.	Vocht & vuil
Zink fractie	99,5	0,5	0,5	90	90	1	100	100	50	10	
Drijf fractie	0,5	99,5	99,5	10	10				50		
Proces afval						99				90	100

Opgemerkt wordt dat een verbeterd verpakkingsontwerp mogelijk ook een positief effect kan hebben op het inzamelgedrag door burgers. Dit wordt vooralsnog niet meegenomen in deze studie.

1 Netto-materiaal-rendementen

De netto-materiaal-rendementen van de recyclingketen stijgen in lichte mate door de verschillende *design-for-recycling* maatregelen. Deze stijging is net niet significant voor het meest vergaande scenario (C). Het effect lijkt op zich klein van $20 \pm 2\%$ naar $22 \pm 2\%$, zie Tabel 6, maar dat vertegenwoordigt wel gemiddeld een aanzienlijke verbetering in hoeveelheden geproduceerde maalgoederen, zie Tabel 7.

Tabel 6: Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen voor de beleidsopties waarbij het bedrijfsleven systematisch de verpakingsontwerpen heeft verbeterd.

Maatregelen	Netto-materiaal-rendement gebaseerd op alleen hoofdproducten en verpakkingen
Basis (referentie)	$20 \pm 2\%$
A	$21 \pm 2\%$
B	$21 \pm 2\%$
C1	$21 \pm 2\%$
C2	$22 \pm 2\%$
C3	$22 \pm 2\%$

De *design-for-recycling* maatregelen van de verpackende industrie leveren tussen de 1,6 en 5,1 kton additionele hoofdproducten op, zie Tabel 7.

Tabel 7: De absolute hoeveelheden hoofdproducten (gewenste gewassen maalgoederen) in [kton] afhankelijk van de *design-for-recycling* maatregelen A-C3.

	Referentie	A	B	C1	C2	C3
GI, Hoeveelheid gewassen maalgoed (hoofdproducten) [kton]						
PET	7 ± 1	7 ± 17	7 ± 17	7 ± 1	8 ± 1	8 ± 1
PE	$8,1 \pm 0,7$	$8,3 \pm 0,7$	$8,3 \pm 0,7$	$8,9 \pm 0,7$	$9,4 \pm 0,7$	$9,5 \pm 0,8$
PP	9 ± 1	10 ± 1	10 ± 1	10 ± 1	11 ± 2	11 ± 2
Film	18 ± 4	18 ± 4	18 ± 4	20 ± 4	21 ± 4	21 ± 4
Mix	17 ± 4	17 ± 4	17 ± 4	15 ± 4	13 ± 4	12 ± 4
Totaal	59 ± 5	60 ± 5	60 ± 5	61 ± 6	62 ± 6	62 ± 6
NA, Hoeveelheid gewassen maalgoed (hoofdproducten) [kton]						
PET	$1,7 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,4$
PE	$2,8 \pm 0,6$	$2,9 \pm 0,6$	$2,9 \pm 0,6$	$3,2 \pm 0,6$	$3,4 \pm 0,6$	$3,4 \pm 0,6$
PP	$2,8 \pm 0,5$	$2,9 \pm 0,5$	$2,9 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$
Film	$6,3 \pm 1,3$	$6,4 \pm 1,3$	$6,4 \pm 1,3$	$6,8 \pm 1,3$	$7,3 \pm 1,4$	$7,4 \pm 1,4$
Mix	$3,0 \pm 1,2$	$3,1 \pm 1,2$	$3,0 \pm 1,2$	$2,8 \pm 1,1$	$2,6 \pm 1,1$	$2,7 \pm 1,1$
Totaal	17 ± 2	17 ± 2	17 ± 2	18 ± 2	19 ± 2	19 ± 2
Gr.Tot.	75 ± 6	77 ± 6	77 ± 6	79 ± 6	80 ± 6	81 ± 6

2 Gemiddelde polymeerzuiverheid van de hoofdproducten

De gemiddelde polymeerzuiverheid van de hoofdproducten stijgt stapsgewijs met de *design-for-recycling* maatregelen van $91 \pm 6\%$ naar $93 \pm 7\%$, de gemiddelde polymeerzuiverheid van de waarde-kunststoffen laat een iets duidelijkere ontwikkeling zien van $94 \pm 4\%$ naar $98 \pm 1\%$, zie Tabel 8. Hieruit blijkt dat de *design-for-recycling* maatregelen een duidelijk effect laten zien op vooral de waarde-kunststof-producten en nauwelijks op Film en Mix.

De samenstellingen van de hoofdproducten verbeteren, zoals verwacht, door deze systematische uitvoering van de ontwerp-verbeteringen. Dit staat uitgewerkt voor de drie hoofdproducten (PET maalgoed, PE maalgoed en PP maalgoed) in de tabellen 9, 10 en 11, respectievelijk. Omdat de modelmatig berekende fout in het gehalte hoofd-kunststof fors is, terwijl de fout in de som van de verontreinigingen relatief gering is, wordt in deze tabellen niet alleen de polymeerzuiverheid getoond maar ook het zogenoemde aandeel ongewenste materialen (AOM). De afname in AOM is redelijk spectaculair met de *design-for-recycling* maatregelen. De polymere verontreinigingen ten gevolge van sorteerfouten worden nu dominant. Er blijven wel polymere verontreinigingen over ten gevolge van verpakkingsontwerp, maar veel minder. Uiteraard veranderen de samenstellingen van de hoofdproducten uit Film en Mix ook, maar dit is minder groot. In deze producten neemt de hoeveelheid zwarte kunststoffen relatief het meest af.

Tabel 8: Gemiddelde polymeer-zuiverheid voor alle hoofdproducten en alleen voor de waarde-producten voor de 5 verschillende *design-for-recycling* maatregelen.

Maatregel	Gemiddelde polymeerzuiverheid van de hoofdproducten, [%]	Gemiddelde polymeerzuiverheid van hoofdproducten uit waarde-sorteerproducten, [%]
Ref	91 ± 6	94 ± 5
A	91 ± 6	95 ± 4
B	93 ± 7	97 ± 2
C1	93 ± 7	97 ± 2
C2	93 ± 7	98 ± 1
C3	93 ± 7	98 ± 1

Tabel 9: Polymeerzuiverheid van het hoofdproduct (PZ) gemaakt van gesorteerd PET uit bron- (GI) en nascheiding (NA) na de verschillende ontwerp-verbeteringen. AOM = Aandeel ongewenste materialen.

Maatregel	PET PZ GI [%]	PET AOM GI, [%]	PET PZ NA [%]	PET AOM NA, [%]
Basis (referentie)	99 ± 22	1,4 ± 0,3	99 ± 28	1,0 ± 0,3
A	99 ± 22	1,0 ± 0,3	99 ± 28	0,6 ± 0,3
B	99 ± 21	0,8 ± 0,2	100 ± 27	0,5 ± 0,2
C1	99 ± 21	0,7 ± 0,2	100 ± 26	0,4 ± 0,2
C2	99 ± 21	0,6 ± 0,2	100 ± 26	0,3 ± 0,2
C3	100 ± 21	0,5 ± 0,2	100 ± 26	0,2 ± 0,2

Tabel 10: Polymeerzuiverheid van het hoofdproduct (PZ) gemaakt van gesorteerd PE uit bron- (GI) en nascheiding (NA) na de verschillende ontwerp-verbeteringen. AOM = Aandeel ongewenste materialen.

Maatregel	PE PZ GI [%]	PE AOM GI, [%]	PE PZ NA [%]	PE AOM NA, [%]
Basis (referentie)	89 ± 11	11 ± 2	91 ± 26	9 ± 3
A	90 ± 11	10 ± 2	92 ± 26	8 ± 3
B	95 ± 11	5 ± 2	97 ± 27	3 ± 2
C1	95 ± 11	5 ± 2	97 ± 27	3 ± 2
C2	96 ± 11	4 ± 2	98 ± 26	2 ± 2
C3	96 ± 11	4 ± 2	97 ± 26	3 ± 2

Tabel 11: Polymeer-zuiverheid van het hoofdproduct (PZ) gemaakt van gesorteerd PP uit bron- (GI) en nascheiding (NA) na de verschillende ontwerp-verbeteringen. AOM = Aandeel ongewenste materialen.

Maatregel	PP PZ GI [%]	PP AOM GI, [%]	PP PZ NA [%]	PP AOM NA, [%]
Basis (referentie)	93 ± 20	7 ± 1	94 ± 24	6 ± 3
A	94 ± 19	6 ± 1	95 ± 23	5 ± 3
B	94 ± 19	6 ± 1	95 ± 23	5 ± 3
C1	96 ± 19	4 ± 1	96 ± 23	4 ± 3
C2	97 ± 19	3 ± 1	97 ± 23	3 ± 3
C3	97 ± 19	3 ± 1	97 ± 23	3 ± 3

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

De ontwerp-verbeteringen hebben een duidelijk direct en indirect effect op de samenstelling van de hoofdproducten. Deze veranderingen lijken gering maar zijn betekenisvol voor de recyclingindustrie. Bij de PET recyclingindustrie is het terugdringen van verontreinigingen op

promille-niveau relevant en dus is de getoonde verbetering aanzienlijk en betekenisvol. Het effect zal zijn dat aanvullende verwerkingsstappen minder materiaalverlies leveren.

Ook voor de PE en de PP hoofdproducten zijn de verbeteringen betekenisvol. In veel gevallen doorlopen beide producten nog een kleursorteringstap, waarbij het hoofd-kunststofgehalte verder zal worden verhoogd. Het effect van de hogere begin-zuiverheid zal zijn dat er hogere kwaliteit eindproducten met een groter rendement zal worden gehaald.

4 Financiële effecten

Er worden drie verschillende financiële effecten voor drie verschillende actoren verwacht, die deels lastig in te schatten zijn:

1. Verpakkend bedrijfsleven: herontwerpkosten,
2. Sorteerbeijven: hogere opbrengsten van de sorteerproducten,
3. Recyclingbedrijven: Hogere inkoopkosten en hogere verkoopopbrengsten.

Ad 1. Ten eerste zal het verpakkend bedrijfsleven kosten maken ten aanzien van het herontwerpen, eventueel het overstappen naar nieuwe machines en eventueel hogere verpakkingsmateriaalkosten. Deze kosten zijn niet of nauwelijks in te schatten.

Ad 2. Ten tweede zullen de verkoopopbrengsten van de gesorteerde producten stijgen. Als voorbeeld hiervoor kunnen de Belgische PE-fracties van Fost-Plus dienen. Deze fracties zijn zuiverder dan de Nederlandse en daardoor kan het prijsverschil tussen beide sorteerfracties 100-200 €/ton bedragen. Dus als we conservatief en indicatief er van uitgaan dat alle gesorteerde producten 50 €/ton meer waard worden (en dat er voor Mix op gelijke wijze minder verwerkingskosten moeten worden gerekend), dan zou de balans van opbrengsten en afzetkosten met 4 M€ stijgen. Dit is een indicatieve berekening en kan op het dubbele uitkomen onder gunstige marktomstandigheden. Afhankelijk van de contractsituatie komen deze additionele inkomsten terecht bij de opdrachtgever of het sorteerbeijf.

Ad 3. Er wordt overall geen positief effect voor de recyclingbedrijven verwacht. Wel verwachten we dat de recyclingbedrijven minder afvalkosten zullen maken en dat de opbrengsten uit de verkoop van de geproduceerde gewassen maalgroederen zullen toenemen. Omdat mechanische recycling (behoudens voor MIX) een sterk competitieve business is, verwachten we dat de recyclingbedrijven dit zullen vertalen in het bieden van hogere prijzen voor de sorteerproducten (behoudens MIX) waardoor er netto geen positief effect voor de recyclingbedrijven overblijft.

5 Acceptatie van de maatregel

Ontwerp-verbeteringen zullen warm onthaald worden door de sorteer- en recyclingbedrijven. Het verbetert indirect hun bedrijfszekerheid doordat de recyclingproducten verbeteren en de verkoopprijzen zullen stijgen.

Daar staat tegenover dat niet alle verpakkende bedrijven vanuit zichzelf hieraan zullen meewerken. Zij zien het vooral als een beperking van de verpakkingsvrijheid, of is het in de

praktijk voor (voornamelijk kleinere bedrijven) lastig te implementeren. Bovendien zullen de meeste verpakkende bedrijven er zelf ook geen direct voordeel van ondervinden. Indirect kunnen de verpakkende bedrijven wel voordeel genieten van deze maatregelen, wanneer de afdrachten aan Stichting Afvalfonds dalen als gevolg van hogere verkoopprijzen voor gesorteerd product. Echter vanuit het perspectief van het individuele verpakkende bedrijf kunnen de meerkosten voor het herontwerp mogelijk niet opwegen voor de lagere afdrachten aan het Afvalfonds. Bovendien is men afhankelijk van het meewerken van *alle* verpakkende bedrijven, voordat er een hogere opbrengst verwacht kan worden.

6 Technische gereedheid

Verpakkende bedrijven kunnen vandaag beginnen met het herontwerpen van hun verpakkingen voor de recyclingketen. Opvallend is dat veel ontwerpers slechts rudimentaire kennis bezitten over de recyclingketen en de effecten van hun ontwerpen op het functioneren van die keten. Dus technisch zijn er nu al heel veel verbeteringen in het verpakkingsontwerp mogelijk, echter er zijn barrières voor de implementatie en die kunnen te wijten zijn aan, een gebrek aan kennis, gebrek aan investeringskapitaal, andere prioriteiten van het verpakkende bedrijf, etc.

DSD, de grootste Duitse inzamel- en recyclingsysteembeheerder voor verpakkingsafval, laat sinds enkele jaren –tegen vergoeding- verpakkende bedrijven hun verpakkingsontwerpen toetsen tegen 641 criteria die de recyclingketen beïnvloeden [Grüne Punkt website]. Er zijn tot nu toe net geen 1000 verpakkingen getoetst en dan vooral van de grote verpakkende bedrijven. Bedrijven die zelf *recycled-content* willen gaan toepassen in hun eigen verpakkingen lijken wel meer geïnteresseerd. Verpakkingsbedrijven moeten de mogelijkheid krijgen machines, productieprocessen aan te passen op een nieuwe verpakking. Dergelijke ontwikkelingen kunnen 1 à 2 jaar duren. In de praktijk kan een verandering van een verpakkingsontwerp vaak zelfs meer tijd vergen.

3.1.5 Markeertechnologie

Markeer-technologieën kunnen een oplossing bieden voor het beter sorteren van gewenste en ongewenste verpakkingen in de sorteerproducten. Er zijn meerdere oplossingen in de richting van markeertechnologieën te bedenken: bijvoorbeeld het gebruik van tracers, of duidelijk verpakkingskenmerken voor het herkenbaar maken van de verpakkingen in het sorteerproces. Hiermee kunnen ongewenste en gewenste verpakkingen snel en automatisch worden geïdentificeerd en van elkaar gescheiden worden en kunnen er zuiverder sorteerproducten worden geproduceerd. De keuze voor een markeertechnologie zou op een supranationaal (Europees) niveau moeten plaatsvinden, aangezien veel verpakkingen internationaal verhandeld worden. De keuze voor een specifieke technologie is moeilijk, aangezien er voor en nadelen aan de mogelijke technologieën zitten en deze impact hebben op verschillende stakeholders. Drie verschillende markeertechnologieën zijn ons bekend voor kunststofverpakkingen: Polymark en Prism op basis van UV-inkten en een Frans systeem op basis van zeldzame aardionen en XRF [Bezati 2011, PRISM, Polymark]. Maar er zou ook gedacht kunnen worden aan afspraken over duidelijk herkenbaar verpakkingsontwerp.

Belangrijk voor een markeertechnologie is: snelle herkenning (milliseconden of seconden), de nauwkeurigheid van de verwijdering van ongewenste verpakkingen en het effect van de markeertechnologie op het volgende mechanische recyclingproces (voorkomen van eventuele foutsorteringen in volgende recyclingcycli door onvolledige verwijdering van de tracer). Een markeertechnologie geeft de mogelijkheid om slecht recyclebare verpakkingen buiten de recyclingketen te houden. Een bijpassend systeem van beoordeling van de recyclebaarheid van verpakkingen kan tevens zorgen voor een andere afdracht voor goed recyclebare verpakkingen en kan daarmee het verpakkend bedrijfsleven stimuleren beter recyclebare verpakkingen te ontwikkelen. Ook zal het effect hebben op de specificaties voor sorteerproducten. Markeertechnologie zal nieuwe specificaties mogelijk maken waarmee recyclingproducten met een hogere polymeerzuiverheid kunnen worden gemaakt.

De modelberekening wordt conceptmatig uitgevoerd, zonder dat er een keuze wordt gemaakt voor een markeertechnologie. De gekozen technologie moet voldoen aan de bovenstaande eisen. Wel worden de effecten van de markeertechnologie bepaald op de kwaliteit en kwantiteit van de gewassen maaggoederen. Er is gekozen dit uit te rekenen voor een specifiek verpakkingstype, om duidelijk het effect van de markeertechnologie te kunnen zien. Het gekozen voorbeeld is categorie PET flessen en flacons. Hierbij gaan we ervan uit dat er onderscheid wordt gemaakt tussen de PET flessen en flacons zonder ongewenste materialen en de PET non-food flacons en schalen, inclusief de verpakkingen met ongewenste materialen (bijvoorbeeld verkleurende barrières). De flessen die absoluut ongewenst zijn in al deze categorieën zouden naar de sorteerrst kunnen worden verwezen, maar beter worden deze ontwerpen aangepast tot een in één deze categorieën gewenste verpakking. Dit leidt tot verschillende drie PET-sorteerproducten:

- PET flessen en food-flacons, zonder ongewenste materialen
- PET flessen en flacons, met eventuele ongewenste materialen, gekleurd PET, etc.
- PET schalen

Deze maatregel wordt geconcretiseerd door het splitsen van het PET sorteerproduct in de drie hierboven genoemde sorteerproducten en het splitsen van de PET flacon verpakkingscategorie in PET food-flacons en PET non-food flacons. Daarbij zijn de 'sorting fates' op de volgende manier aangepast:

- Aandeel PET dat in de Mix zal gaan wordt gehalveerd voor de PET flessen en flacons, en voor de PET dieptrek en vormvast op 10% gezet voor gescheiden inzameling en 5% voor nascheiding, gebaseerd op de orde grote verliezen van PET flessen in richting dit sorteerproduct.
- Het PET dat in de PET sorteerfractie zou komen wordt vermeerderd met de overige helft van wat nu uit de Mix overblijft. Deze hoeveelheid wordt voornamelijk in de juiste categorie gesorteerd, met een afwijking van 0,5% in beide andere categorieën. Als juiste categorieën worden gedefinieerd:

- PET Helder Drank - Kleiner/gelijk 0,5 liter: PET flessen en flacons, zonder ongewenste materialen
- PET Bont Drank - Kleiner/gelijk 0,5 liter: PET non-food flacons en ongewenste flessen
- PET Helder Drank - Groter 0,5 liter: PET flessen en flacons, zonder ongewenste materialen
- PET Bont Drank - Groter 0,5 liter: PET non-food flacons en ongewenste flessen
- Flacons food PET: PET flessen en flacons, zonder ongewenste materialen
- Flacons non-food PET: PET non-food flacons en ongewenste flessen
- PET dieptrek: PET schalen
- PET vormvast: PET schalen
- Het aandeel andere verpakkingen dat normaliter in het PET sorteerproduct eindigt wordt gelijkmatig over de drie PET sorteerproducten verdeeld.

De splitsing van food en non-food flacons is gemaakt op basis van data uit het PET recycling project [Thoden van Velzen et al. 2016]. De materiaalsamenstelling van de PET schalen is gelijk gehouden. De materiaalsamenstelling van de PET flessen is aangepast: de PET flessen bestaan alleen nog uit PET, PE en PP. De overige materialen zijn verwijderd en het PET gehalte is daardoor iets verhoogd. De materiaal-samenstelling van de PET flacons is aangepast op basis van de gemeten samenstelling uit het PET recycling project [Thoden van Velzen et al. 2016].

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt van $20 \pm 2\%$ naar $23 \pm 19\%$. De gekozen toepassing van de markeertechnologie heeft alleen invloed op de sorteerproducten PET en Mix, voor alle andere maalgoederen blijven de hoeveelheden en de samenstellingen gelijk. In plaats van één soort PET maalgoed, zullen nu drie soorten PET maalgoed worden geproduceerd. De totale hoeveelheid PET maalgoed neemt met in totaal 10 kton toe, zie Tabel 12. De totale hoeveelheid hoofdproducten die uit Mix worden gemaakt dalen met ongeveer 1 kton, dit zijn maalgoederen gemaakt van de drijvende fractie. De grootste daling doet zich voor bij de bijproducten die uit de Mix worden gemaakt, die dalen met 8,3 kton.

Tabel 12: Totale hoeveelheid geproduceerd gewassen maalgoed voor en na de invoering van markeertechnologie voor de sortering van PET verpakkingen.

	Basis model	Model met markeertechnologie	
	Gewicht opgeleverd gewassen maalgoederen [kton]	Gewicht opgeleverd gewassen maalgoederen [kton]	
Gewassen maalgoederen, hoofdproducten uit gescheiden inzameling			
PET flessen en food-flacons, zonder ongewenste materialen	7 ± 1	$5,0 \pm 0,7$	16 ± 2
PET flessen en flacons, met eventuele ongewenste materialen, gekleurd PET, etc.		$2,1 \pm 0,03$	
PET schalen		$8,9 \pm 1,3$	
Mix	17 ± 4	16 ± 3	
Gewassen maalgoederen, hoofdproducten uit nascheiding			
PET flessen en food-flacons, zonder ongewenste materialen	$1,7 \pm 0,3$	$1,3 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,3$
PET flessen en flacons, met eventuele ongewenste materialen, gekleurd PET, etc.		$0,5 \pm 0,1$	
PET schalen		$1,0 \pm 0,02$	
Mix	3 ± 1	3 ± 1	

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten blijft gelijk, wat niet verwonderlijk is omdat er geringe, maar betekenisvolle veranderingen plaatsvinden binnen alleen de PET producten. Vanwege de berekeningswijze is het effect op de polymeerzuiverheid van de hoofdproducten van de PET stromen gering; de PET-concentratie was al $99 \pm 22\%$ en stijgt nog iets verder (van $98,6 \pm 22\%$ naar $99,4 \pm 20\%$). Het aandeel ongewenste materialen in de PET producten uit gescheiden inzameling daalt van $1,4 \pm 0,5\%$ naar $0,6 \pm 0,4\%$ en voor dezelfde PET producten uit nascheiding van $1,0 \pm 0,5\%$ naar $0,4 \pm 0,4\%$.

Doordat de PET-schalen als gevolg van deze maatregel uit de MIX worden gehaald, is er een groot effect op de polymersamenstelling van het bijproduct van de Mix (de zinkende fractie) zichtbaar, hier daalt het PET-gehalte van $61 \pm 31\%$ naar $25 \pm 40\%$.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten en bijproducten.

Ondanks dat de polymeerzuiverheid van de gewassen PET maalgoederen slechts beperkt toeneemt, kan het uit food-flessen en –flacons gemaakte gewassen PET maalgoed nu wel toegepast worden voor de productie van rPET voor flessen. Bij de beoordeling van rPET recyclingprocessen voor *food-grade* rPET die in flessen kan worden toegepast, heeft de EFSA een

additionele voorzorgsmaatregel getroffen dat de PET-flessen-grondstof meer dan 95% moet bestaan uit PET flessen die voor levensmiddelen zijn gebruikt [EFSA 2011]. Ondanks dat inmiddels meerdere toonaangevende wetenschappers hebben aangetoond dat deze additionele voorzorgsmaatregel met de huidige Europese recyclingprocessen geen additionele veiligheid oplevert [Welle 2015], wordt dit nog steeds geëist in de voorlopige toelatingsvergunningen. Aangezien in Nederlandse PET-sorteerproducten ongeveer 20% non-food-flacons aanwezig zijn [Thoden van Velzen et al 2016] en het handmatig uitsorteren niet kosteneffectief is, kunnen de food-flessen wel automatisch uit-gesorteerd worden door deze markeertechnologie. En dit vertaalt zich in een forse toename in de circulaire toepassing van de gewassen maaggoederen.

4 Financiële effecten

Er worden financiële effecten verwacht voor meerdere belanghebbenden, voor het verpakkende bedrijfsleven, sorteerbedrijven en recyclingbedrijven. Deze effecten zijn nu alleen kwalitatief in te schatten, omdat de ontwikkelaars van de markeertechnologieën hier geen openheid over wensen geven. De effecten worden per groep belanghebbenden ingeschat:

- Verpakkend bedrijfsleven. De PET-verpakkingen die op de markt gebracht worden zullen door een onafhankelijke, objectieve instantie beoordeeld moeten worden tot welke PET-categorie ze moeten worden gevoegd, dit geeft keuringskosten of certificeringskosten. Verder zullen er aanschafkosten zijn voor de labels of de kleurspots en de machines die ze aanbrengen. Om de financiële effecten voor het verpakkend bedrijfsleven te verzachten, is het wellicht een idee dat er tariefdifferentiatie wordt toegepast door het Afvalfonds voor gemarkeerde versus niet gemarkeerde PET-verpakkingen.
- Sorteerbedrijven. De sorteerbedrijven zullen moeten investeren in aanvullende sorteermachines voor de PET-stroom. Dit zijn of UV of XRF sorteermachines en de voorliggende en nakomende aanvoer en afvoerbanden, inclusief de aparte bunkers voor de twee additionele PET producten. Dit zijn substantiële investeringen van een aantal miljoen € per sorteerbedrijf. Daar staat tegenover dat de prijs van het PET-flessen product zal stijgen van zo'n 100 naar 350 €/ton. De non-food flacons stroom zal nog steeds voor 100 €/ton verkopen en voor de PET-schalen is nu nog geen markt. De verwachting is dat als die markt ontstaat dat ze eerst kosteloos (of mogelijk zelfs met bijbetaling) zullen worden afgenomen. Dit betekent dat jaarlijkse revenuen van de verkoop van PET-producten zal stijgen van 0,8 M€ naar 2,5 M€. Dus afhankelijk van de precieze investeringskosten per sorteerbedrijf en de contractvoorwaarden van het sorteerbedrijf met de opdrachtgevers (dus wie profiteert van de additionele revenuen) kan dit wel of niet lonend zijn voor het sorteerbedrijf.
- Recyclingbedrijven. De recyclingbedrijven krijgen een breder pallet aan kwaliteiten PET-grondstoffen die ze wel of niet kunnen inzetten in hun productie. Ze kunnen zich specialiseren in de productie van specifieke rPET-grades en daarmee nieuwe markten openen. Aangezien dit een sterk competitieve markt is, is hier netto nauwelijks een groot financieel effect te verwachten.

5 Acceptatie van de maatregel.

Het invoeren van markeertechnologie leidt tot meer circulair hergebruik van PET verpakkingen. Dit zal goed vallen bij politieke partijen en maatschappelijke belangengroeperingen. Ook sorteerbedrijven zullen positief zijn over deze markeertechnologie, in het geval de business case positief uit pakt. Voor het verpakkende bedrijfsleven is markeertechnologie echter voornamelijk een kostenpost en een potentiële beperking van hun verpakkingsvrijheid.

6 Technische gereedheid van de maatregel.

Twee technieken (PRISM en Polymark) lijken gereed voor introductie. Zover wij kunnen overzien zijn hier geen technische barrières voor marktintroductie. Een veel grotere barrière is echter niet technisch van aard; het internationale karakter van de ketens maakt de introductie van markeertechnologie namelijk lastig. Het is onzinnig om voor Nederland alleen een andere markeertechnologie te kiezen dan voor Duitsland, gelet op de mate waarin de ketens zijn verweven. Daarom is minimaal internationale afstemming noodzakelijk. De grootste bezwaren lijken de systeemkeuze op internationaal niveau en acceptatie van het verpakkende bedrijfsleven.

Deze maatregel heeft effect op meerdere partijen in de keten, zowel het verpakkingsontwerp als het sorteerproces zullen moeten worden aangepast. Daarnaast zal het ook effect hebben op de rest van de keten (mechanisch recyclen, toepasbaarheid van granulaten) daarom is dit geen losstaande maatregel die door één ketenpartij kan worden ingevoerd en is de invoering per definitie ingewikkeld.

3.2 Beleidsopties voor gemeenten en inzameldiensten

Vier beleidsopties voor gemeenten en inzameldiensten worden onderscheiden:

1. PMD inzameling.
2. Maximaal nascheiden (capaciteit die nu gebouwd wordt).
3. Maximaal nascheiden (100% scenario).
4. Bewust inzetten van de bestaande nascheiding-capaciteit.

3.2.1 PMD inzameling

Na 1 januari 2015 is het grootste deel van de Nederlandse gemeenten overgestapt naar PMD inzamelen (ongeveer 75%) [Thoden van Velzen et al. 2018]. Daarmee is deze maatregel dus al voor een groot gedeelte een feit. In dit rapport worden desalniettemin de effecten ten opzichte van het referentiemodel van 2014 bekeken en blijft daarmee een legitieme onderzoeksvraag hoe de invoering van PMD inzamelen het recyclingsysteem beïnvloed.

Er is relatief weinig bekend in de openbare literatuur over de invloed van de uitbreiding van het inzamel-portfolio op het recyclingsysteem. Wel zijn wat algemeenheden bekend over de veel grotere bruto-responsen van PMD ten opzichte van een mono-inzameling van kunststof-verpakkingen [NVRD 2016] en er is samenstellingsinformatie van ingezameld PMD van anonieme gemeenten op hoofdlijnen beschikbaar [LCKVA 2017], maar deze publieke informatie is te beperkt voor het modelleren van de recyclingketen. Vanuit het project Evaluatie Drankkartons 2016 [Thoden van Velzen et al. 2018] is er informatie beschikbaar omtrent de samenstelling van PMD materiaal in: plastics, metalen, drankkartons en soorten restafval van 24 gemeentes en daarbij de vocht- en vuilgehalten van deze materialen. Verder is er geen publieke informatie over de sorteerverdeling van PMD materiaal en de mechanische recyclingrendementen van gesorteerde kunststofproducten uit PMD materiaal. Dus er is ook geen inzicht in het effect van PMD inzamelen op recyclingketen. Zodoende worden deze effecten verkend met het model.

Opgemerkt moet worden dat de portfolio-verbreding zelf vooral de hoeveelheid verpakkingen die apart worden ingezameld per huishouden verhoogd, waardoor de inzamelfrequentie kan worden verhoogd, de inzamelmethode van het verpakkingsmateriaal vaak wordt aangepast (van breng-bak naar haal-zak naar haal-minicontainer). Dit kan weer indirect leiden tot een aanpassing in de inzamelwijze –of frequentie van het restafval, wat weer invloed heeft op de hoeveelheid en de samenstelling van het PMD materiaal. Kortom, de maatregel PMD-inzamelen omvat vaak veel meer dan alleen een verbreding van de inzamelportfolio.

Deze beleidsoptie wordt geconcretiseerd in het model door de volgende zaken te veranderen. De hoeveelheden ingezameld afval worden veranderd in lijn met de voorlopige cijfers van CBS voor 2015:

- Gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen: 86 kton bruto
- Gescheiden ingezameld PMD materiaal: 87 kton bruto.
- Gemengd huishoudelijk restafval: 3381 kton bruto

Daarnaast is een extra optie toegevoegd met de CBS data voor 2016:

- Gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen: 34 kton bruto
- Gescheiden ingezameld PMD materiaal: 190 kton bruto.
- Gemengd huishoudelijk restafval: 3222 kton bruto

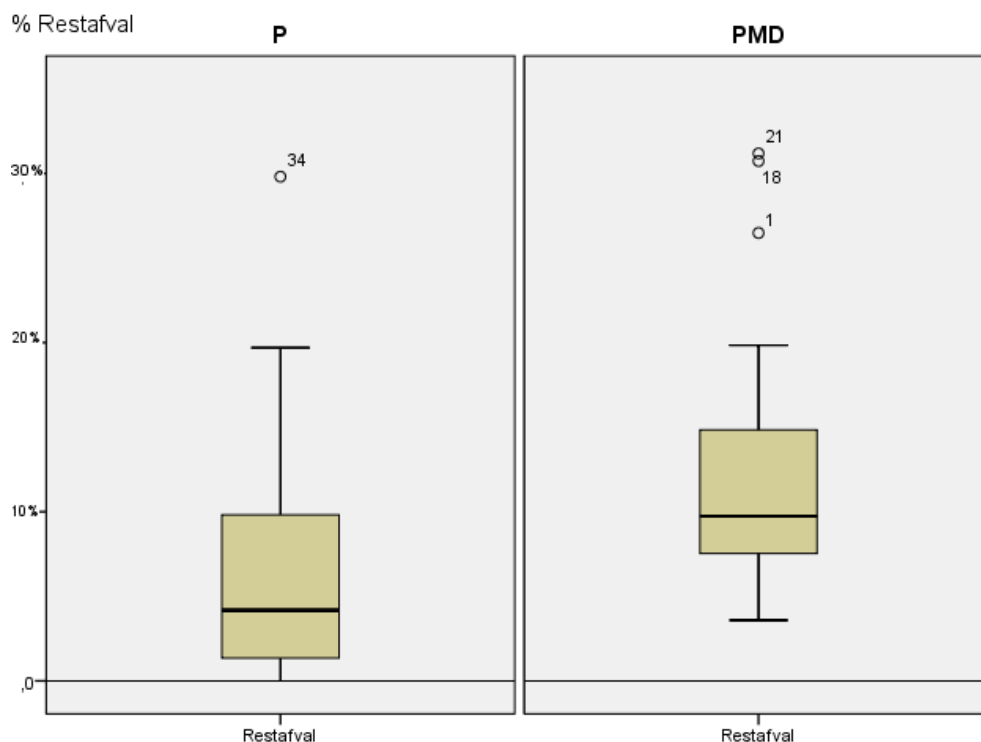
Hieruit blijkt dat de verschuiving in inzamelmethode voor de kunststofverpakkingen snel gaat (van mono-P naar PD naar PMD). Opgemerkt moet worden dat CBS geen onderscheid maakt tussen PMD en PD en dat de som van beide wordt gerapporteerd. In het drankenkartonrapport wordt dat wel gedaan en blijkt er in 2016 8 kton mono-P door 29 gemeenten, 43 kton PD door 68 gemeenten en 176 kton PMD door 247 gemeenten te zijn ingezameld [Thoden van Velzen et al 2018]. Deze bruto-responsen zijn uit Wastetool registraties afgeleid en deze matchen niet volledig met de gegevens van CBS. Het geeft wel een beeld van de relatieve dominantie van het PMD inzamelsysteem ten opzichte van PD en mono-P. Verwacht mag worden dat deze geïntensiverde vorm van inzameling zal leiden tot lagere gehalten kunststofverpakkingen in het restafval. Dit effect is echter nog niet vastgesteld in een nieuw verlaagd gemiddelde. Er wordt door PWC in opdracht van Afvalfonds onderzocht of er naast het effect van het aanpassen van het systeem ook een autonoom effect aanwezig is die de stijging in hoeveelheden ingezameld materiaal beïnvloed. Hiermee wordt bedoeld dat consumenten steeds beter leren om hun afval te scheiden en het selectiegedrag (wat in de P of PMD zak en wat in het restafval) op termijn verbeterd en steeds meer burgers meedoen met het gescheiden inzamelen van kunststofverpakkingen. Omdat er in dit rapport data van 2014 wordt vergeleken met data uit 2015 en 2016 is het mogelijk dat de stijging in de bruto-responsen niet alleen het gevolg is van de nieuwe inzamelmethode, maar ook het autonoom effect. Er is onvoldoende informatie beschikbaar om dergelijke leereffecten te kwantificeren en daarvoor de stijging desgewenst te corrigeren.

De samenstelling van het PMD materiaal en de gehalten aanhangend vocht en vuil zijn afgeleid uit de analyses van 24 gemeentes, zie Tabel 13. De samenstelling van de kunststoffractie in plasticverpakkingstypen is nog niet bekend, dit wordt gemeten en zal in de vervolgrapportage worden opgenomen. Voorlopig gaan we er van uit dat die niet veranderd zijn ten opzichte van die voor de materialen uit gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen, ook de standaarddeviaties zijn gelijk gehouden in het model.

Tabel 13: Grove samenstelling (GS) van het PMD ingezamelde materiaal (n=24, 2017, evaluatie drankenkartons), percentages op basis van brutogewichten. Op de tweede regel staan de gemiddelde gehalten aanhangend vocht- en vuil (AVV) voor de drie verpakkingscategorieën in PMD (gewichtsafname reiniging gedeeld door totaal brutogewicht).

	Plastics	Metaal	Drankenkartons	Restafval	Agglomeraten
GS	66 ± 9%	8 ± 2%	13 ± 4%	12 ± 8%	1 ± 1%
AVV	10 ± 3%	6 ± 2%	35 ± 6%		

In Figuur 3 is het aandeel restafval in ingezameld PMD materiaal naast de hoeveelheid restafval in de gescheiden ingezamelde kunststof-verpakkingen van 2013 geplaatst [Thoden van Velzen et al 2018]. Statistische analyse van beide datasets wijst er uit dat er een significant verschil is tussen het gehalte restafval in de gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen van 2013 en het gehalte restafval in het PMD-materiaal van 2017; in het PMD-materiaal zit meer restafval⁴. Daarbij moet wel worden vermeld dat het P materiaal in deze data afkomstig is van andere gemeentes dan het PMD materiaal, en dat dit verschil dus ook veroorzaakt kan worden door een andere uitvoering van het inzamelsysteem (diftar, haal/breng/etc.), lokale omstandigheden of gedrag van de burgers. Ook moet rekening gehouden worden met het verschil in periode: 2013 ten opzichte van 2017 waarin de metingen genomen zijn. De stijging van het gehalte restafval in het PMD materiaal ten opzichte van de mono-P inzameling kan dus een oorzaak hebben buiten het inzamelsysteem. Dit is niet onderzocht. Voor de bepaling van het gehalte restafval zijn metalen en drankenkartons in de P analyse meegeteld als restafval, het behoorde toen namelijk nog niet tot de inzamelportfolio, terwijl bij PMD inzameling metalen en drankenkartons het doelmateriaal waren, en dus niet werden meegeteld met het restafval.



Figuur 3: Box-plots van de samenstelling van gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen (P) n=15, en co-ingezamelde kunststofverpakkingen, metaalverpakkingen en drankenkartons (PMD) n=24 ten aanzien van het bruto-gehalte restafval [Thoden van Velzen et al 2017].

⁴ Er werd een enkelzijdige T-toets uitgevoerd met als hypothese dat er meer restafval in het PMD materiaal zou zitten dan in de gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen, de waarde bleek 0,029 en was dus minder dan 0,05, waarmee de hypothese als juist werd beoordeeld.

Er is geen publieke, toetsbare technische informatie over de sorteerverdeling van PMD-materiaal en de *sorting fates* van verpakkingen in PMD-materiaal. Zodoende is er gekozen om het sorteerproces van PMD materiaal op een zoveel mogelijk vergelijkbare manier te modelleren als de verpakkingen in de gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen. De *sorting fates* van de kunststofverpakkingen zijn gelijk gehouden aan het bestaande model, aangezien er geen betere informatie beschikbaar is. Drankenkartons en metaalverpakkingen werden in het bestaande model niet gesorteerd naar een eigen sorteer categorie maar naar de sorteerrest, daarom waren er voor deze verpakkingen aanpassingen nodig. Het model is aangepast zodat drankenkartons en metaal producten naar respectievelijk de sorteerproducten drankenkartons en metalen worden afgescheiden. Voor drankenkartons is een sorteerefficiëntie van 73% genomen [Thoden van Velzen et al 2018] en voor metaalproducten een conservatieve sorteerefficiëntie van 65% (WFBR project 6239135800). De sorteerverdeling van beide materialen naar sorteerrest en MIX is naar verhouding aangepast. De sorteerverdeling van beide materialen naar de kunststof-hoofdproducten (PET, PE, PP, Film) is gelijk gebleven.

De resulterende sorteerverdeling op het niveau van sorteerproducten is weergegeven in Tabel 14 en wordt vergeleken met de sorteerverdeling van kunststofverpakkingen uit gescheiden inzameling. Uit de vergelijking volgt dat er relatief minder waarde-producten van PMD-materiaal gemaakt kan worden bij gelijkblijvende sorteerverdeling voor de kunststofverpakkingen en dat er meer sorteerrest ontstaat.

Tabel 14: Sorteerverdeling van gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen en de kunststofverpakkingen ingezamelde via PMD [%]

	Sorteerverdeling bij gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen	Sorteerverdeling bij PMD ingezamelde kunststofverpakkingen
PET	7 ± 1	5 ± 1
PE	8 ± 1	6 ± 1
PP	10 ± 2	8 ± 2
Film	21 ± 4	17 ± 4
Mix	37 ± 8	35 ± 12
Sorteerrest	15 ± 1	16 ± 5
Vocht-vuil dat verdampt tijdens sorteerproces	2 ± 2	1 ± 5
Drankenkarton en metaal sorteerproducten		11 ± 2

Als gevolg van de nieuwe sorteerverdeling (Tabel 14) en het hogere gehalte restafval in het ingezamelde materiaal (Figuur 3) zullen de gehalten restafval in de sorteerproducten gemaakt van ingezameld PMD-materiaal toenemen. Dit is weergegeven in Tabel 15. Vooral het gehalte

restafval in het sorteerproduct MIX ziet er onrealistisch hoog uit. Hierbij moet worden aangegeven dat dit is berekend op basis van de *sorting fates* per verpakkingstype voor gescheiden ingezameld materiaal, in combinatie met de samenstelling van het PMD ingezamelde materiaal. Dit is natuurlijk geen juiste weergave van de werkelijkheid en de consequentie van het gebruik van een model dat voor mono-P-ketens en niet voor PMD-ketens was opgesteld. In 2018 zal een toegesneden PMD-model worden opgeleverd, waarmee veel realistischere uitspraken kunnen worden gedaan.

Tabel 15: Gemodelleerd gehalte restafval in sorteerproducten [%]

	Gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen	Via PMD ingezamelde kunststofverpakkingen
PET	0,21 ± 0,04	1,1 ± 0,2
PE	0,23 ± 0,03	1,3 ± 0,1
PP	0,7 ± 0,1	3,3 ± 0,6
Film	0,6 ± 0,1	2,9 ± 0,5
MIX	10 ± 2	25 ± 8

Voor het model mist er nog detailinformatie over de samenstelling van de sorteerproducten die gemaakt zijn van het PMD-materiaal en van de halffabricaten in het recyclingproces, zoals vocht- en vuilgehalten van het ongewassen maalgoed en de overdrachts-coëfficiënten. Voorlopig gaan we er van uit dat die niet veranderd zijn ten opzichte van die voor de materialen uit gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen. De rest van de keten is op dezelfde manier gemodelleerd.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt door de invoering van PMD-inzamelen van 20 ± 2% in 2014 naar 23 ± 1% in 2015 en 26 ± 2% in 2016. Deze stijging is beperkt, maar wel significant. Deze stijging wordt veroorzaakt door een stijging in het netto-inzamelrendement voor gescheiden inzameling van alle kunststof-verpakkingen van 25 ± 3 % in 2014 naar 29 ± 2 % netto in 2015 en 34 ± 3 % netto in 2016.

De groei in de totale hoeveelheid maalgoederen van zowel hoofdproducten als bijproducten uit gescheiden inzameling stijgen door de invoering van PMD inzamelen is samengevat in Tabel 16. Uiteraard blijft de totale hoeveelheid maalgoederen uit nascheiding gelijk.

Tabel 16: De totale hoeveelheid maalgoederen gemaakt uit gescheiden inzameling volgens het basisscenario (2014) en gemodelleerd met PMD inzameling.

		Basis model	Model met PMD inzameling (2015)	Model met PMD inzameling (2016)
		Gewicht, [kton]	Gewicht, [kton]	Gewicht, [kton]
Gewassen maalgoederen, hoofdproducten				
PET	Zink-fractie	7 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
PE	Drijf-fractie	8 ± 1	10 ± 1	12 ± 1
PP	Drijf-fractie	9 ± 1	12 ± 1	14 ± 1
Film	Drijf-fractie	18 ± 4	22 ± 3	26 ± 4
Mix	Drijf-fractie	17 ± 4	21 ± 3	25 ± 4
Totaal		59 ± 5	72 ± 5	86 ± 7
Gewassen maalgoederen, bijproducten				
PET	Drijf-fractie	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1
PE	Zink-fractie	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1
PP	Zink-fractie	1,5 ± 0,3	1,9 ± 0,3	2,4 ± 0,4
Film	Zink-fractie	2,0 ± 0,4	2,6 ± 0,4	3,1 ± 0,5
Mix	Zink-fractie	19 ± 5	26 ± 5	33 ± 6
Totaal		24 ± 5	32 ± 5	41 ± 6

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De modelberekeningen laten zien dat de gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten gelijk blijft ($91 \pm 6\%$) voor en na het invoeren van PMD inzamelen. De toename in het gehalte restafval in de sorteerproducten (Tabel 15) vertaalt zich dus niet in een afname van de polymeer-zuiverheid van de gewassen maalgoederen. Dat ook het gehalte restafval-componenten in het gewassen maalgoederen niet toeneemt, komt door de overdrachtscoëfficiënten in het model voor het wasproces. Hierbij is uiteraard de vraag of deze hoge coëfficiënten, die zijn afgeleid uit metingen met kunststof uit een mono-inzamelsysteem met weinig restafval, het recyclingproces van kunststof uit PMD wel voldoende juist beschrijven.

De onzuiverheid van de bijproducten neemt echter wel toe en bevatten meer metalen, organische stof en restafval. Echter, deze modelberekening stoelt op veel veronderstellingen die nog niet kunnen worden geverifieerd (samenstelling kunststofverpakkingstypen, sorteerefficiëntie, mechanische recycling efficiëntie, etc.). Hierdoor kan in de toekomst, als er meer detailinformatie beschikbaar komt, deze deelconclusie nog wijzigen.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten en bijproducten.

De PMD inzameling lijkt vooralsnog geen effect te hebben op de kwaliteit van de geproduceerde hoofdproducten. De kwaliteit van de bijproducten neemt wel af, maar aangezien deze nu verbrand moeten worden, verandert dit nu niets aan de huidige verwerkingswijze. Hooguit maakt het de opgave om de bijproducten wel geschikt te maken voor materiaalhergebruik nog ingewikkelder. Opgemerkt moet worden dat de conclusies ten aanzien van de toepasbaarheid zijn gebaseerd op een model met beperkingen en dat er in de nabije toekomst een geschikter model voor PMD inzameling zal volgen en dus dat deze conclusies mogelijk zullen moeten worden bijgesteld.

4 Financiële effecten

Er worden drie soorten financiële effecten verwacht van de invoering van PMD inzamelen:

1. Effecten op de verkoopprijzen / verwerkingstarieven voor de sorteerproducten
2. Meerkosten voor de verwerking van meer sorteerrest,
3. Meer vergoeding betaald door het Afvalfonds.

Ad 1. Volgens meerdere belanghebbenden (Nedvang en recyclingbedrijven) is de opbrengst per gesorteerd product gedaald en is het verwerkingstarief voor MIX verder gestegen tussen 2014, 2015 en 2016. Hierbij wordt gemeld dat gehalten restafval en ongewenste verpakkingen in alle sorteerproducten stijgen. De vraag is of de daling in opbrengsten alleen kan worden geweten aan de invoering van het PMD inzamelen, of dat het VANG-beleid en het restafval-vermijnd-beleid hier debet aan zijn geweest, zie Hoofdstuk 4 en Bijlage D. Veronderstellende dat het alleen aan de invoering van PMD inzameling kan worden geweten, kan met het model worden berekend dat de balans tussen opbrengsten en kosten voor het verhandelen van de gesorteerde producten zich heeft ontwikkeld van ca. +5 M€ in 2014 naar ca. -1,8 M€ in 2015 naar ca. -2,7 M€ in 2016. Oftewel een daling in de inkomsten uit het verhandelen van de sorteerproducten met ongeveer 8 M€, waardoor het van een overall opbrengst een overall kostenpost is geworden. Deze kostenpost komt voor een groot deel terecht bij het Afvalfonds, als gevolg van de afspraak dat tegenvallende inkomsten door het Afvalfonds zouden worden gedekt.

Opgemerkt moet worden dat deze prijsdaling al was ingezet, lang voordat China's nieuwe kwaliteitsbeleid van kracht werd (1 jan 2018) en dat de invloed van PMD op de prijzen los staat van de effecten van het Chinese beleid, maar deze elkaar uiteraard wel versterken (dus nog lagere prijzen).

Ad 2. Volgens het model steeg de totale hoeveelheid sorteerrest van 19 ± 1 bruto kton in 2014 naar 27 ± 4 bruto kton in 2015 naar 36 ± 9 bruto kton in 2016 ten gevolge van de invoering van PMD-inzamelen. Dit komt neer op een stijging met zo'n 9 kton /jaar aan extra sorteerrest dat moet worden afgevoerd, volgens het rekenmodel. Het afvoeren van sorteerrest kost ongeveer 80 €/ton. Wat neerkomt op additionele kosten van 0,7 M€ per jaar bij gelijke stijging, die de sorteerbedrijven zullen moeten betalen en ze wel of niet kunnen doorberekenen naar de

gemeenten afhankelijk van hun contract. Uiteraard kan dit meer worden als de ingezamelde hoeveelheden PMD verder stijgen en het percentage restafval blijft meestijgen. Het is niet zeker dat er ook echt meer sorteerrest is gevormd (zie paragraaf 4.1).

Ad 3. Volgens het model stijgt de hoeveelheid gesorteerd kunststofproduct uit gescheiden inzameling van 103 kton in 2014 naar 164 kton in 2016 ten gevolge van de invoering van PMD inzameling. Tegelijkertijd daalde de vergoeding van het Afvalfonds voor gesorteerde kunststofproducten van 817 €/ton in 2015 naar 756 €/ton in 2016. Dientengevolge stegen de vergoedingskosten voor het Afvalfonds van 84 naar 129 M€, een toename van 45 M€.

5 Acceptatie van de maatregel.

Inzameldiensten, gemeenten en het ministerie Infrastructuur en Waterstaat zien PMD inzameling als een methode om sneller de VANG doelstellingen te halen en zijn er enthousiast over deze inzamelwijze. Hierbij wijzen ze op de enorme groei in bruto-respons die met de introductie van PMD optreedt en de gelijktijdige daling in de hoeveelheid huishoudelijk restafval. Ook wijzen ze op het gemak die dit de burgers biedt.

Stichting Afvalfonds, Nedvang en enkele recyclingbedrijven zijn juist bezorgd over de introductie van PMD inzameling en vrezen dat de kosten van het systeem te hoog oplopen en de kwaliteit van de recyclingproducten vermindert.

Metaalbedrijven hebben verschillende meningen over PMD inzameling. Een deel wil dat de metaal-inzameling via conventionele nascheiding na verbranding verloopt. Een ander deel denkt dat PMD inzameling zou kunnen leiden tot recycling van meer kleine aluminium-verpakkingen en –objecten.

6 Technische gereedheid van de maatregel.

PMD inzameling is massaal geïmplementeerd door Nederlandse gemeenten tussen 1 jan 2015 en nu. Grofweg zamelt nu driekwart van de Nederlandse gemeenten op deze wijze in.

Deze maatregel is een portfolio-verbreding die allereerst was bedoeld om de respons van kunststof-verpakkingen te verhogen. Echter, de sorteerbedrijven moeten ook geschikt gemaakt worden voor het verwerken van dit materiaal. Ook moeten de vrijkomende andere materialen (drankenkartons en metaal) kunnen worden gerecycled. Deze maatregel heeft dus invloed op meerdere ketenschakels, die op elkaar moeten worden afgestemd. Inmiddels zijn er stappen gezet, en wordt PMD materiaal ingezameld en gesorteerd. De gesorteerde kunststoffen kunnen op gelijke wijze worden gerecycled als apart ingezamelde kunststoffen.

3.2.2 Maximaal nascheiden, bouw huidige capaciteit.

Er zijn meerdere nascheiding-installaties aangekondigd die in een verschillend stadium van bouw verkeren, bij AEB, HVC en bij Cure. Andere aangekondigde installaties zijn of weer teruggetrokken of er kon geen formele bevestiging van gekregen worden. In Tabel 17 staan de verwachte investeringen.

Voor deze optie wordt alleen de bouw van de nascheiding-installaties bij AEB en HVC meegenomen. De additionele capaciteit van 440 kton voor het nascheiden van huisvuil, betekent dat het aandeel gemengd huishoudelijk restafval dat kan worden nagescheiden zal stijgen van 743 naar 1183 kton oftewel procentueel van $21 \pm 3\%$ naar $34 \pm 4\%$. In het model wordt er vanuit gegaan dat de samenstelling van het MSW gelijk is met de samenstelling in het oorspronkelijke model, en dat er dus voldoende kunststofverpakkingen in het MSW aanwezig zijn. Aangezien AEB de regio Amstelland gaat bedienen, waar bronscheiding slechts beperkt plaatsvindt, en HVC het beleid hanteert: “Gescheiden inzamelen waar dat goed gaat. Waar gescheiden inzameling moeilijk blijkt, aanvullen met nascheiding” lijkt dit uitgangspunt reëel.

Tabel 17: Aangekondigde nascheidingsinstallaties voor huishoudelijk restafval.

Organisatie	Verwachte capaciteit HHRA, [kton/jr]	Oplevertermijn	Nascheiding-techniek	bron
AEB metropool AMS	300	Najaar 2017	Klassiek	Persbericht AEB nascheidingsinstallatie
HVC Alkmaar	140 (uitbreidbaar naar 225)	Zomer 2017	Klassiek	Gesprek met Stefan de Beer. Persbericht HVC
Cure REnescience*	80	Eind 2018	Natte enzymatische scheiding	Gesprek REnescience
AVR	?	Eind 2018	Klassiek	Aankondiging AVR 31 okt 2017

De natte enzymatische nascheiding die Cure plant voor 2018 voor Eindhoven is nu nog niet meegenomen in de analyse, omdat dit een wezenlijk andere technologie is en er weinig openbaar bekend is over de rendementen en de kwaliteiten van de geproduceerde materialen. Ook de toegevoegde capaciteit van AVR is niet meegenomen in de analyse, omdat op het moment van analyse de capaciteit van deze installatie niet bij ons bekend was.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt van $20 \pm 2\%$ naar $23 \pm 2\%$ als dit rendement alleen betrokken wordt op kunststofverpakkingen en de hoofdproducten. Deze stijging is te danken aan de stijging van de hoeveelheid gewassen maalgoed gemaakt uit nagescheiden gesorteerde fracties en deze zal stijgen van 17 ± 2 kton hoofdproduct naar 27 ± 3 kton hoofdproduct, dus een stijging met 10 kton. De hoeveelheid hoofdproduct uit gescheiden inzameling blijft gelijk.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten blijft gelijk op $91 \pm 6\%$, er wordt geen verandering in de samenstelling van het geproduceerde gewassen maalgroed verwacht.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

De toepasbaarheid is van de nagescheiden en gesorteerde kunststoffen zal vergelijkbaar zijn met de huidige producten, er wordt geen verschil verwacht.

4 Financiële effecten

Uitbreiding van de nascheiding-capaciteit betekent dat er forse investeringen worden gedaan door twee bedrijven HVC en AEB. Deze worden terugbetaald uit de vergoedingen die de nascheiders krijgen van het Afvalfonds voor nagescheiden en gesorteerde producten. Het model voorspelt dat de uitbreiding van de nascheiding-capaciteit de hoeveelheid gesorteerd product uit nascheiding zal laten stijgen van 30 ± 3 kton naar 48 ± 4 kton. De additionele vergoeding van het Afvalfonds zal ongeveer 13 M€ bedragen, omdat de vergoeding 712 €/ton gesorteerd product bedraagt in 2017 en er 18 kton extra gesorteerd product zal worden geproduceerd.

5 Acceptatie van de maatregel.

Die is in het algemeen groot. Ondanks dat er mensen zijn die vinden dat gescheiden inzameling de voorkeur moet hebben, is gebleken dat vooral in West-Nederlandse steden (en in de meeste gevallen in specifieke wijken) de participatiegraad⁵ beperkt bleef en het ingezamelde materiaal bovengemiddeld veel restafval bevatte. Zodoende wordt nascheiding nu een additionele plaats gegund. Bovendien hebben de aanvullende installaties zoals die van HVC het achterliggende beleid gescheiden inzameling te stimuleren en waar dat niet lukt in te zetten op nascheiding. In totaal zal dat dan tot meer hergebruik leiden.

6 Technische gereedheid van de maatregel.

De nascheiding-techniek voor kunststofverpakkingen, drankenkartons en metaalverpakkingen is volwassen. De capaciteit wordt gedurende 2017 en 2018 fors uitgebreid.

3.2.3 Maximaal nagescheiden (100% van MSW wordt aangeboden aan nascheiders).

Dit is een fictief scenario waarin al het Nederlandse huisvuil zal worden nagescheiden. Hiervoor zullen meerdere installaties moeten worden bijgebouwd bij alle Nederlandse AVI's, dit is niet altijd praktisch mogelijk. Daarom is dit ook een fictief scenario, om aan te geven wat het (totale) maximale effect zou kunnen zijn. De huidige gescheiden inzamel-infrastructuur blijft bij deze optie onveranderd. Ook wordt verondersteld dat het nascheiding-rendement onveranderd blijft. Uit de data tot 2015 bleek er in Nederlands gemengd huishoudelijk restafval nog voldoende kunststofverpakkingen aanwezig zijn. Uitgaande van deze gegevens is er geëxtrapoleerd wat

⁵ Het aandeel mensen die deelnemen aan het gescheiden inzamelsysteem.

nascheiding van al het Nederlands huisvuil zou kunnen opleveren. Hierbij moet worden opgemerkt dat het huisvuil van enkele gemeenten als Horst aan de Maas en Oost-Gelre (CBS Statline) door intensieve inzamelmethoden inmiddels zo verarmd is aan kunststofverpakkingen, dat nascheiding voor deze gemeenten geen zin meer heeft. Dit effect hebben we verwaarloosd in deze berekening.

1 Netto-materiaal-rendement

De hoeveelheid gewassen maalgoed uit nascheiding stijgt van 17 ± 2 kton naar 78 ± 9 kton. Dit betekent een stijging van het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen van $20 \pm 2\%$ naar $37 \pm 3\%$ (gebaseerd op alleen het materiaal uit de verpakkingen in het hoofdproduct).

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De additioneel geproduceerde maalgoederen hebben dezelfde kunststof-samenstelling als de huidige maalgoederen gemaakt van nagescheiden en gesorteerde producten en dus blijft de polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten gelijk.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

De toepasbaarheid van de geproduceerde maalgoederen uit nascheiding zal identiek zijn aan de huidige maalgoederen uit nascheiding.

4 Financiële effecten

Net als bij de voorgaande maatregel zal er fors moeten worden geïnvesteerd en zullen de investeringen worden terugverdiend uit de vergoedingen voor gesorteerd product.

De hoeveelheid gesorteerd product uit nascheiding zal voor dit scenario stijgen van 30 ± 3 kton naar 141 ± 13 kton. Dit is een stijging van 111 kton. Dus als de vergoeding 712 €/ton gesorteerd product bedraagt, zijn de meerkosten aan vergoedingen voor het Afvalfonds: 79 M€/jaar.

5 Acceptatie van de maatregel.

Deze maatregel zal niet breed geaccepteerd worden. Inzameldiensten kunnen dit beschouwen als een ondermijning van de gescheiden inzamelsystemen. Verwacht mag worden dat bedrijven die afval verwerken uit de Randstad en andere hoogbouwgebieden het meest enthousiast zullen zijn. Het bouwen van extra capaciteit voor nascheiding komt het beste tot zijn recht in combinatie met een beleid ter verhoging van de responsen op gescheiden inzameling, en als aanvulling voor de gebieden waar gescheiden inzameling niet goed werkt (bv hoogbouwgebieden).

6 Technische gereedheid.

In principe zouden binnen enkele jaren extra installaties gebouwd kunnen worden als alle actoren meewerken. Helaas is het technisch niet mogelijk om alle bestaande afvalverbrandingsinstallaties nu met een voorliggende nascheidingsinstallaties uit te rusten. Dus ondanks dat de nascheidingstechniek gereed is, kunnen er lokaal toch onoverkomelijke problemen zijn als gebrek aan fysieke ruimte bij een bestaande verbrandingsinstallatie. Dat maakt het bouwen van nascheidingsinstallaties voor ál het restafval onwaarschijnlijk. Een tweede punt is dat ook de sorteer- en recyclingbedrijven zich zullen moeten aanpassen aan sorteerproducten met een iets hogere vervuilingsgraad die iets intensiever zullen moeten worden gereinigd om vergelijkbare maalgoederen uit te produceren. Niet alle bestaande recyclingbedrijven zijn hiertoe in staat. Het is wel mogelijk dat de nascheidingscapaciteit in Nederland in de komende jaren blijft groeien. Dit zal voornamelijk afhangen van de mogelijkheid voor bedrijven om hierin te investeren door bijvoorbeeld blijvende zekerheid op vergoedingen.

3.2.4 *Bewust inzetten bestaande nascheiding-capaciteit*

Dit is een fictief scenario waarbij de huidige nascheiding-capaciteit bewust zal worden ingezet voor hoogbouw-gebieden en andere gebieden waar gescheiden inzameling moeilijk blijkt en de responsen laag zijn. Dit betekent dus dat in een aantal gemeenten in Noord-Nederland, die veelal landelijk van aard zijn, gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen zal worden geïntroduceerd en van het nascheiding-systeem zullen worden afgekoppeld. Tegelijkertijd zal de vrijgekomen nascheiding-capaciteit worden benut voor een aantal gemeenten met veel hoogbouw waar de gescheiden inzameling moeizaam verloopt, dit zullen vermoedelijk randstadgemeenten zijn. Deze gemeenten worden dan afgeschakeld van hun huidige gescheiden inzamelsysteem en aangeschakeld worden aan de nascheidingsinstallaties in Noord-Nederland. Deze maatregel kan worden gecombineerd met een beleid voor de verhoging van gescheiden inzamelresponsen.

Deze maatregel wordt op de volgende manier geconcretiseerd:

- De hoeveelheid nagescheiden kunststofverpakkingen wordt gelijk gehouden, waarbij de veronderstelling wordt gedaan dat het nascheiden van restafval uit diverse hoogbouwwijken hetzelfde oplevert als uit het restafval van Noord-Nederlandse gemeenten.
- De hoeveelheid kunststofverpakkingen die wordt verkregen uit de ingevoerde gescheiden inzameling in Noord-Nederland wordt ingeschat uit de hoeveelheid kunststofverpakkingen die aanwezig zijn in het Noord-Nederlandse restafval dat nu wordt onderworpen aan nascheiding vermenigvuldigd met een licht-bovengemiddelde inzamelrespons van 50%, die voor een overwegend ruraal gebied reëel is. Deze inzamelrespons wordt relatief gedifferentieerd naar verpakkingstype op de wijze zoals die nu voor gescheiden inzameling in Nederland in 2014 is berekend; dus PET flesjes iets hoger en PE folie iets lager, etc.

- De verpakkingstypen, niet verpakkingen en restafval dat extra via gescheiden inzameling zal worden ingezameld wordt afgetrokken van de totale samenstelling van het restafval.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt door het bewust inzetten van de nascheiding-capaciteit van $20 \pm 2\%$ naar $24 \pm 2\%$. Bovendien stijgt het inzamelrendement (voor de gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen) van $25 \pm 3\%$ naar $30 \pm 3\%$.

De hoeveelheden gewassen maalgoed stijgen van 75 ± 6 kton hoofdproducten naar 89 ± 7 kton hoofdproducten. Dit is een forse stijging met 14 kton. Ook de hoeveelheid bijproducten zal stijgen van 28 ± 5 kton naar 33 ± 6 kton. Dit vertegenwoordigt een stijging van 5 kton.

2 Gemiddelde polymeerzuiverheid van de hoofdproducten

De samenstelling van alle producten blijft nagenoeg gelijk, dus de polymeer-zuiverheid van de producten verandert niet.

3 Toepasbaarheid eindproduct en zijstromen.

De toepasbaarheid van de hoofd- en bijproducten blijven gelijk omdat de samenstelling niet verandert.

4 Financiële effecten

Er zijn een aantal verschillende financiële effecten: additionele transportkosten, investeringen in inzamelmiddelen door Noord-Nederlandse gemeenten, veranderde restafvalverwerkingskosten door veranderde contracten en tarieven en tenslotte de extra vergoedingen voor het Afvalfonds. De additionele transportkosten voor het restafval kunnen grofweg worden ingeschat uitgaande van de totaal input van de nascheidingsinstallaties (743 kton restafval), gebruik van 40 ton vrachtwagens en een gemiddelde reisafstand van 200 km op zo'n 8 M€. Deze additionele transportkosten zullen waarschijnlijk door de inwoners van Randstadgemeenten moeten worden bekostigd via hogere afvalstoffenheffingen.

Verwacht mag worden dat de investeringen in nieuwe inzamelmiddelen voor de Noord-Nederlandse gemeenten kunnen worden bekostigd uit de vergoedingen van het Afvalfonds. De mogelijke effecten op de huisvuilverwerkingskosten kunnen niet worden ingeschat. De kosten voor het Afvalfonds zullen stijgen met de stijging in de hoeveelheid geproduceerde sorteerproducten van 134 ± 9 kton naar 158 ± 11 kton (+24 kton). Dit vertaalt zich in 17 M€ additionele kosten voor het Afvalfonds.

5 Acceptatie van de maatregel.

Die is buitengewoon laag. Deze maatregel negeert de bestaande contracten en relaties tussen gemeenten en afvalverwerkers volledig en gebruikt de bestaande nascheidingsinstallaties zo nuttig mogelijk voor het nationale kunststofhergebruikssysteem. Het is ook niet de verwachting dat deze maatregel ingevoerd zou gaan worden. De maatregel laat zien wat er theoretisch haalbaar

zou zijn als bestaande installaties optimaal ingezet zouden worden. Deze maatregel wordt dus ook niet implementeerbaar geacht, omdat er geen nationale regie bestaat op de contractvorming tussen gemeenten en afvalverwerkende industrie.

6 Technische gereedheid

De maatregel maakt gebruik van bestaande installaties en vrachtwagens en is dan ook technisch direct uitvoerbaar.

3.3 Beleidsopties voor sorteerbedrijven

De volgende maatregelen voor sorteerbedrijven zijn uitgewerkt:

1. Kitkokers uitsorteren.
2. Zwarte verpakkingen van de sorteerrest naar de Mix sorteren.
3. Maximaal effectief sorteerbeleid stimuleren.

Hierbij moet worden opgemerkt dat een aantal van de beleidsopties voor recyclingbedrijven ook consequenties heeft voor de sorteerbedrijven, deze beleidsopties zijn verder uitgewerkt in de volgende sectie: 3.4 Beleidsopties voor recyclingbedrijven.

3.3.1 *Kitkokker uitsorteren*

In januari 2017 is er bij sorteerbedrijf Augustin een nieuwe sorteermachine voor kitkokers geïnstalleerd tussen de PE NIR sorteermachine en de opslagbunker. Hij werkt door beeldherkenning en schijnt het aantal kitkokers dat door mensen moet worden uit-gesorteerd enorm te verkleinen.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement zal niet veranderen door de invoering van kitkokersorteermachines. Uit het basismodel 2014 is immers bekend dat er ongeveer 400 ton kitkokers per jaar worden weggegooid waarvan ongeveer een kwart in het gescheiden inzamelsysteem terecht komt en daarvan komt slechts 9% in het PE product terecht, dus zo'n 9 ton. Deze hoeveelheid is verwaarloosbaar ten opzichte van de 10 kton PE sorteerproduct in het basismodel.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid zal niet veranderen door deze maatregel, ook al worden de kitkokers 100% effectief verwijderd uit het PE-sorteerproduct, dan nog zal dit niet zichtbaar worden in de gemiddelde polymeer zuiverheid

3 Toepasbaarheid eindproduct en zijstromen.

Als de machine goed functioneert, zal het hoofdproduct geen of nauwelijks kitkokers meer bevatten, waarmee een groot probleem van de PE-recyclingbedrijven teniet wordt gedaan. De toepasbaarheid van het PE product neemt daarmee dus iets toe.

4 Financiële effecten

De investeringskosten voor sorteermachines is normaliter zo'n 150-200 k€ met wat aanvullende investeringen in het veranderen van lopende banden en het besturingssysteem. Deze investeringskosten zijn eenmalig voor het sorteerbeidrijf en de besparing in menselijke sorteerploegen is continu. Dus als de machine inderdaad goed functioneert, hoeven er minder mensen de PE stroom te controleren en zal die machine binnen enkele jaren zijn terugverdiend. In het geval de machine echt goed functioneert, is het zelfs denkbaar dat de prijs van het gesorteerde PE product licht zal stijgen.

5 Acceptatie van de maatregel.

Als de machine goed functioneert, zal de acceptatie hoog zijn.

6 Technische gereedheid van de maatregel

De installatie van de machine bij Augustin heeft al plaatsgevonden, dus is het een operationele techniek. Dit is een technische toevoeging aan het sorteerproces, die kan worden uitgevoerd door de sorteerdere zelf. Daarmee is het een losse maatregel. Wel heeft het een positief effect op de ketenschakels na het sorteren.

3.3.2 Zwart kunststof uit de sorteerrest met NIR-machines

Vanaf 2015 hebben meerdere sorteermachinebouwers apparaten op de markt gezet die zwarte kunststoffen zouden kunnen herkennen. Het business-idee was deze apparaten zwarte kunststoffen uit de sorteerrest zouden schieten en weer terug zouden voeren naar de MIX. Dit is in het bijzonder aantrekkelijk voor sorteerbeidrijven die Nederlands verpakkingsmateriaal sorteren. Immers hiermee wordt de sorteerrest beperkt en de hoeveelheid MIX verhoogd. Uit gesprekken met betrokkenen blijken de ervaringen van betrokkenen met deze apparaten sterk uiteen te lopen.

In 2017 publiceerden Rozenstein et al. een artikel over een mid-infrarood-sorteermachine om zwart kunststof te kunnen sorteren [Rozenstein 2017]. Hiermee kon het kunststof-type van stukken zwart kunststof geïdentificeerd worden. Een probleem van een sorteermachine met mid-infrarood spectroscopie is echter de lage detectiesnelheid die niet in overeenstemming is met noodzakelijke hoge verwerkingssnelheid in de sorteerinstallaties. Dit wijst erop dat er met alleen mid-infrarood geen voldoende snelle sorteermachine kan worden gebouwd.

Recent heeft Ti-tech een Autosort Black aangekondigd, dit apparaat maakt gebruik van snelle laser-reflectietechnologie en zou wel zwarte kunststoffen van andere materialen kunnen onderscheiden. Een vertegenwoordiger van een Nederlands sorteerbeidrijf meldde dat de testen met dit nieuwe apparaat succesvol zijn verlopen en dat begin 2018 dit apparaat geleverd gaat worden. Hiermee zou voldoende zuiver zwart kunststof uit de sorteerrest terug naar de MIX kunnen worden geleid.

Deze maatregel werd in het model geconcretiseerd door de *sorting fates* voor zwarte kunststoffen aan te passen. Dit was mogelijk voor het deelmodel voor gescheiden inzameling maar niet voor het deelmodel voor nascheiding. Als eerste inschatting gaan nu met deze nieuwe sorteermachine 70% van de zwarte kunststoffen die in de sorteerrest terecht zouden komen naar de MIX, waarbij 30% van de originele hoeveelheid in de sorteerrest overblijft.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen neemt met deze maatregel toe van $20 \pm 2\%$ naar $21 \pm 2\%$. De hoeveelheid MIX sorteerproduct gemaakt uit gescheiden inzameling zal toenemen van 46 ± 9 naar 49 ± 9 kton.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten blijft onveranderd. Het hoofdproduct uit MIX bestaat uit voornamelijk PE en PP, met kleine hoeveelheden PS, PET en PVC met forse spreidingswaarden. Doordat het zwarte kunststof uit de sorteerrest bij de Mix gevoegd gaat deze samenstelling binnen de spreidingswaarden niet veranderen.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

Het percentage zwarte kunststofsniippers van de maalgoederen die uit de MIX gemaakt worden, zullen toenemen. Het maargoed uit Mix zal iets donkerder kleuren. Dit zal de toepasbaarheid van dit maargoed niet veranderen.

4 Financiële effecten

Vier financiële effecten worden verwacht;

1. investeringskosten voor de sorteerbedrijven,
2. lagere verwerkingskosten voor de sorteerrest,
3. hogere verwerkingskosten voor MIX,
4. een hogere vergoeding voor het Afvalfonds.

Ad 1. De investeringskosten voor een sorteerbedrijf zullen bedragen: de aanschafkosten voor een nieuwe sorteermachine (circa 150.000-200.000 €), de aansluitkosten inclusief de aanpassingen aan lopende banden etc. Verwacht wordt dat de investeringskosten snel worden terugverdiend door het sorteerbedrijf doordat er een hogere vergoeding wordt verkregen (meer Mix) en de verwerkingskosten voor rest dalen (minder sorteerrest).

Ad 2. De verwerkingskosten voor de sorteerrest zullen dalen omdat er ongeveer 3 kton minder sorteerrest zal moeten worden afgevoerd ter verbranding a 90 €/ton, dus 270.000 €/jaar minder aan kosten. Afhankelijk van de contractvoorwaarden gaat dit voordeel naar of het sorteerbedrijf of naar de opdrachtgever.

Ad 3. Aangezien er 3 kton extra aan MIX zal worden geproduceerd zal dit moeten worden verhandeld aan een MIX-verwerker die hier een gemiddeld tarief van rond de 115 €/ton voor zal rekenen, dus 345.000 €. Deze stijging in verwerkingskosten zal voor rekening van het Afvalfonds komen.

Ad 4. Tenslotte zal de vergoeding voor het produceren van de extra hoeveelheid Mix die het Afvalfonds moet betalen, stijgen met ongeveer 2 M€ (3 kton maal 712 €/ton).

5 Acceptatie van de maatregel.

Als de machine goed functioneert, zal de acceptatie door het sorteerb企业, de opdrachtgever en de recyclingbedrijven hoog zijn. Sorteerb企业 kunnen er een hoger sorteerrendement mee halen en dat is belangrijk voor hen binnen de huidige contracten.

6 Technische gereedheid

Deze sorteermachines zijn nu te koop en volgens een vertegenwoordiger van een sorteerb企业 zijn ze uitgebreid getest en goed bevonden. Deze techniek is dus gereed.

3.3.3 *Maximaal effectief sorteerbeleid stimuleren*

Het sorteerproces van kunststofverpakkingsafval is een flexibel proces dat op vele wijzen uitgevoerd kan worden door andere instellingen als band-snelheden, beladingsgraden, windzifter-instellingen en softwarematige fijn-afstellingen van NIR-sorteermachines. Voor de beheerder van een sorteerb企业 is het van belang om binnen de contractvoorwaarden winst te maken waarbij deze beheerder tegelijkertijd moet werken met de mogelijkheden die de samenstelling van het ingezamelde materiaal hem biedt. Deze beleidsoptie berekent het effect van een maximaal effectief sorteerbeleid waarbij technisch gezien zo goed mogelijk wordt gesorteerd.

Deze beleidsoptie wordt geconcretiseerd door in het rekenmodel de *sorting fates* van het gescheiden ingezamelde materiaal aan te passen. Aangenomen is dat de maximaal haalbare sorteerefficiëntie van de NIR technologie 90% is. Daarom is de *sorting fate* van de verpakkingen per verpakkingstype gezet op 90% in het juiste sorteerproduct. De resterende 10% foutief gesorteerde verpakkingen werden verdeeld over de andere sorteerproducten in dezelfde verhouding als die in het basismodel gehanteerd wordt. Voor de sortering na nascheiding is het met dit model niet mogelijk dit uit te rekenen, daarom is deze beleidsoptie alleen op de bronscheidingsketen in het model toegepast.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen stijgt van $20 \pm 2\%$ naar $21 \pm 2\%$ door het maximaal effectief sorteerbeleid. De hoeveelheden gesorteerde waarde-producten (PET, PE, PP en Folie) stijgen en de hoeveelheid gesorteerde MIX daalt, zie Tabel 18. De totale hoeveelheid sorteerproducten wordt iets minder, wat betekent dat de hoeveelheid sorteerrest iets groter wordt. De sorteerrest bestaat nu uit meer restafval en minder verpakkingen.

Tabel 18: Gewichten van de sorteerproducten na gescheiden inzameling, referentie en na de maatregel.

	Gewicht sorteerproducten (referentie) [kton]	Gewicht sorteerproducten (na maatregel) [kton]
PET	8,7 ± 1,3	10,6 ± 1,5
PE	10,1 ± 0,9	10,5 ± 0,9
PP	12 ± 2	13 ± 2
Film	26 ± 4	29 ± 5
Mix	46 ± 7	34 ± 5
Totaal	104 ± 9	96 ± 8

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten

De gemiddelde polymeer-zuiverheid daalt van $91 \pm 6\%$ naar $88 \pm 14\%$ door het beter sorteren. Dit lijkt onlogisch, maar omdat er nu beter wordt gesorteerd, zullen PE- en PP-verpakkingen uit de MIX worden gehaald en aan of PE of PP worden toegevoegd. Hierdoor neemt de onzuiverheid van het grootste sorteerproduct (MIX) toe, waardoor de gemiddelde polymeer-zuiverheid daalt. Daar staat tegenover dat de gemiddelde polymeer-zuiverheid van de waarde-fracties juist stijgt van $94 \pm 4\%$ naar $96 \pm 3\%$. In Tabel 19 zijn de gehalten hoofdkunststof in de verschillende waarde-sorteerproducten (PET, PE en PP) weergegeven. Er is een duidelijke verbetering te zien in de samenstelling van het gewassen PE en PP maalgoed.

Tabel 19: Gehalte hoofdkunststof in de hoofdproducten gewassen maalgoed uit gescheiden inzameling.

	Gehalte hoofdkunststof in hoofdproduct (Referentie) [%]	Gehalte hoofdkunststof in hoofdproduct (Na maatregel) [%]
PET	99 ± 22	99 ± 15
PE	89 ± 11	93 ± 11
PP	93 ± 20	97 ± 19

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

De kwaliteit van de geproduceerde hoofdproducten neemt toe. Dit is vooral voor PE en PP duidelijk. Hierdoor wordt het voor recyclingbedrijven relatief makkelijker om maalgoederen te maken met een hoge polymeer-zuiverheid, die geschikt zijn voor circulaire toepassingen. Bovendien leidt deze aansluitende mechanisch recycling dan tot minder bijproducten.

4 Financiële effecten

Deze maatregel kent vele financiële effecten:

1. Hogere sorteerkosten voor de opdrachtgever,
2. Hogere verwerkingskosten voor een grotere hoeveelheid sorteerrest,

3. Hogere opbrengsten voor de sorteerproducten,
4. Lagere vergoeding door het Afvalfonds.

Ad 1. Beter sorteren kost meer moeite voor het sorteerbedrijf; er kan minder materiaal door de installatie worden gevoerd en waarschijnlijk zullen de menselijke sorteerploegen moeten worden uitgebreid om de betere sorteerkwaliteit te garanderen. Het is waarschijnlijk dat de sorteerbedrijven een hogere sorteervergoeding zullen vragen van hun opdrachtgever. Hoeveel de sorteervergoeding precies zal stijgen zal sterk afhangen van de contractvoorwaarden en de samenstelling van het ingezamelde materiaal. Een stijging van 50 €/ton ingaand materiaal lijkt reëel en is in het verleden al als meerkosten in rekening gebracht als het ingezamelde materiaal te sterk vervuild was. Dit geeft een indruk van wat de meerkosten zouden kunnen bedragen. Dit zou in het referentiescenario al 6 M€ bedragen.

Ad 2. De sorteerbedrijven zullen een grotere hoeveelheid sorteerrest moeten laten verbranden. Door deze maatregel zal er ongeveer 7 kton meer sorteerrest worden geproduceerd (met minder verpakkingen dan nu gangbaar is) die voor ongeveer 90 €/ton verbrand zal moeten worden, dus een meerkosten van ongeveer 630.000 €. Afhankelijk van de contractvoorwaarden moet het sorteerbedrijf of de opdrachtgever dit betalen.

Ad 3. De sorteerproducten zullen zuiverder zijn, minder restafval en minder ongewenste verpakkingen bevatten. Hierdoor zal naar verwachting de opbrengsten van de verkoop van de waarde-fracties PET, PE en PP stijgen met 100 €/ton, die van folie met 10 €/ton. Het effect op de verwerking van MIX is minder duidelijk. De MIX zal door de maatregel bijna alleen nog maar uit slecht recyclebare verpakkingen bestaan en daardoor weinig aantrekkelijk zijn voor de MIX-verwerkers. Omdat er een gebrek is aan verwerkingscapaciteit voor MIX, kunnen de verwerkers of het tarief fors verhogen of de verwerking weigeren. Dit is een reëel gevaar maar niet in te schatten. Voor de waarde-kunststoffen zal dit leiden tot een stijging in de inkomsten uit de verkoop van sorteerproducten met ongeveer 4 M€/jaar. Afhankelijk van de contractvoorwaarden komen deze extra inkomsten bij of het sorteerbedrijf of de opdrachtgevers terecht.

Ad 4. Omdat de totale geproduceerde hoeveelheid sorteerproducten daalt met 7 kton, daalt ook de vergoeding die het Afvalfonds zal moeten betalen met ongeveer 5 M€.

De balans van de financiële effecten voor het sorteerbedrijf zal dus sterk afhangen van de contractvoorwaarden die zij hebben met de opdrachtgevers. In alle gevallen zal beter sorteren meer geld kosten en zal dat betaald moeten worden door de opdrachtgever of het sorteerbedrijf. Aangezien beide hier geen belang bij hebben, zal dit ook niet spontaan gaan gebeuren.

5 Acceptatie van de maatregel.

Het Afvalfonds en de recyclingbedrijven zullen enthousiast zijn over het beter sorteren. De sorteerbeidrijven zullen deze maatregel niet doorvoeren als er geen financiële prikkel voor is dit te doen, aangezien deze maatregel geld zal gaan kosten.

6 Technische gereedheid.

Als er voldoende sorteercapaciteit voor handen zou zijn, zou er direct gestart kunnen worden met beter sorteren. Dit is echter niet het geval. Dus de implementatie-duur hangt samen met de tijd die het kost om de sorteercapaciteit verder uit te bouwen en dat is typisch 1 jaar.

Het betreft een reeks maatregelen bij de sorteerbeidrijven zelf; optimaliseren van de snelheden van de lopende banden, het verminderen van de beladingsgraad van de banden en een betere fijninstelling van de scheidingsmachines (NIR, wind ziften, zeef), etc. Op zich is dit nu technisch uitvoerbaar. Echter, het zal wel noodzakelijk zijn om de hoeveelheid restafval in het ingezamelde materiaal te beperken, want de ervaring leert dat het voor een sorteerbeidrijf steeds lastiger wordt om nog zuivere sorteerproducten te maken uit ingezameld materiaal met een toenemend gehalte aan restafval.

3.4 Beleidsopties voor recyclingbedrijven

De volgende beleidsopties voor recyclingbedrijven zijn geïdentificeerd en uitgewerkt:

1. PE bottle (non-food) recycling.
2. Film to film recycling.
3. Sorteren en (chemisch) recyclen van PET tray
4. Alternatieve verwerkingsmethoden voor Mix.
5. Magnetische dichtheidscheiding

3.4.1 PE bottle (non-food) recycling

Zowel Biffa, QCP als DSD produceren inmiddels een speciale kwaliteit gerecycleerd PE die geschikt is om nieuwe rPE flessen mee te blazen. Hiernaar is vraag bij zowel producenten van handzeep, plantenvoeding, shampoo, wasmiddel, schoonmaakmiddelen, motorolie, etc. Dit doen deze bedrijven door een hele reeks maatregelen in het recyclingproces te nemen; heter wassen, beter drijf-zink-scheiden, windziften van etiketten, strikte kleur-scheiding van het maalgoed en vacuüm-ontgeuren. Hierdoor ontstaat een product van kleurloze en witte flakes (~50%) met een PE gehalte van meer dan 97%, wat geschikt is om PE flacons mee te blazen. Daarnaast ontstaat er een bont-product met een PP gehalte van rond de 10 à 20% wat voor buizen en platen geschikt is.

1 Netto-materiaal-rendement

Er zijn geen veranderingen te verwachten in de totale hoeveelheden product en de ketenrendementen. Wel gaan er meer verschillende rPE hoofdproducten op de markt worden gebracht; ongeveer de helft van een nagenoeg kleurloos PE met een hoog PE gehalte dat geschikt is voor hergebruik in flacons en ongeveer de helft van een donkerder grijs PE met een relatief hoger PP gehalte van 10 à 20%. Daarnaast wordt er nog een additioneel bijproduct van labels geproduceerd dat als PO-mix moet worden afgezet.

Dus de 10 ± 1 kton PE maalgoed uit gescheiden inzameling in het referentiescenario wordt opgesplitst in grofweg 5 kton hoge kwaliteit PE maalgoed, 5 kton lagere kwaliteit PE maalgoed en kleine hoeveelheid PO-mix.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid blijft onveranderd. Wel komt er een nieuw PE product op de markt met een hogere polymeer-zuiverheid (circa 97%). Tegelijkertijd komt er echter ook tweede hoofdproduct op de markt met een lagere polymeer-zuiverheid (circa 80-90%).

3 Toepasbaarheid hoofdproducten en bijproducten.

Het gewenste hoofdproduct kan als *recycled content* in PE flacons worden ingezet, dus een circulaire toepassing. Het tweede product is meer geschikt voor buis- en plaat-extrusie om tal van

gebruiksartikelen te maken (waterbuizen, afdekplaten, emmers, etc.). Terwijl het huidige rPE nu voor alleen die laatste producten wordt toegepast.

4 Financiële effecten

Er worden alleen financiële effecten voor het recyclingbedrijf verwacht, die naar verwachting zullen uitmiddelen. De opbrengst van het rPE recycelaat voor flacons ligt veel hoger, het zou de prijs van nieuw PE benaderen, dus rond de 1200-1300 €/ton. De opbrengst van het mindere recycelaat zal veel lager liggen, vermoedelijk rond de 600-800 €/ton. Daar staat tegenover dat de meerkosten van het ingewikkeldere recyclingproces ook fors zijn (meer energie en meer investeringen). Volgens de betrokkenen zijn de kosten van het heet wassen cruciaal. Zolang er maar een relatief goedkope bron van warmte beschikbaar is, kan dit proces financieel uit. Ook zijn de investeringskosten hoog, dus is een hoge machine-bezetting ook belangrijk om de kosten te beheersen. Voorlopig gaan we ervan uit dat de meeropbrengsten voor het recyclingbedrijf worden gecompenseerd door de hogere productiekosten.

5 Acceptatie van de maatregel.

Die is groot, zowel bij de verpakkende industrie die op zoek is naar hoge kwaliteit rPE, als de overheden en het publiek die het positief voorbeeld van circulair hergebruik zien. Alleen PE-recyclagebedrijven die niet mee kunnen met deze ontwikkeling, zullen hiervan zware concurrentie ervaren en mogelijk buiten bedrijf gesteld worden.

6 Technische gereedheid.

Deze technologie is gelijktijdig ontwikkeld bij drie concurrerende recyclingbedrijven met verschillende grondstoffen. Het vergt wel hoogopgeleid personeel en de beschikbaarheid van een laboratorium om de kwaliteit van de producten te meten en zo nodig bij te sturen. Niet alle recyclingbedrijven kunnen dit bieden. De verwachting is dat de vraag naar rPE voor flacons gaat groeien en dat dit de PE-recyclingindustrie behoorlijk gaat veranderen.

3.4.2 Film to film recycling

Meerdere recyclingbedrijven (Cedo, Attero, Saica) innoveren door uit de foliefractie een rPE-recycelaat te maken waarmee nieuw folie kan worden geblazen. Dit is een combinatie van verschillende maatregelen in het recyclingproces: streng NIR sorteren op gewenst PE folie, heet wassen met loog, ontgeuren door vacuüm-extrusie. De precieze massabalans en procesvariabelen zijn bedrijfsgeheim [Websites Attero en Cedo]. Betrokkenen melden dat streng NIR scheiden heel belangrijk is om de polymere verontreiniging met vreemd-kunststof uit laminaatverpakkingen zo goed als mogelijk uit te sluiten en polymere verontreiniging met PP te beperken tot maximaal 3%. Van dusdanig gereinigd materiaal kan nieuw folie worden geblazen. Dit betekent evenwel dat het overall massarendement maximaal 80% zou kunnen bedragen omdat er forse hoeveelheden laminaatfolie, PP-folie en andere verontreinigingen van het sorteerproduct

Folie (DKR 310) moeten worden afgescheiden. Het PE-folie-rendement zal maximaal 85% bedragen, gegeven de verliezen die gangbaar zijn bij NIR-sorteren.

Voor het afgescheiden laminaatfolie bestaat geen markt. Het afgescheiden PP-folie kan nog wel met andere reststromen in mengpolyolefine worden verwerkt. Bij een conventioneel recyclingbedrijf zullen de NIR-rejects tot bijproduct worden verwerkt die of als mengpolyolefine worden afgezet of worden verbrand. Bij gecombineerde sorteer- en recyclingbedrijven bestaat de mogelijkheid om de NIR-rejects uit het foliemateriaal terug te voeren naar het sorteerproduct MIX.

1 Netto-materiaal-rendementen

Het netto-materiaal-rendement daalt waarschijnlijk van $20 \pm 2\%$ naar $19 \pm 2\%$ doordat er ongeveer 4 kton minder gewassen foliesnippers zullen worden geproduceerd. Mogelijk wordt er uit de NIR-rejects toch nog gedeeltelijk een meng-polyolefine-bijproduct gemaakt waardoor deze daling lager uitvalt.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid van de hoofdproducten stijgt van $91 \pm 6\%$ naar $93 \pm 5\%$ aangezien het gangbare folie-product met een polymeer-zuiverheid van 82% wordt vervangen door een zuiverder folie-product ($>97\%$). Mocht er een tweede onzuiverder mengpolyolefine-product worden geproduceerd, dan is deze stijging minder groot.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

Het product met een hoog PE gehalte kan worden toegepast in flexibele verpakkingen en folie toepassingen als vuilniszakken en verzendenvelopen. Een eventueel product met het lagere PE gehalte kan worden toegepast in dikkere producten als tonnen, rijplaten, etc. Op dit moment vindt de afzet van gerecycleerd kunststof uit gesorteerde folie alleen in dikkere producten plaats.

4 Financiële effecten

Deze maatregel heeft alleen consequenties voor het recyclingbedrijf. De maatregel heeft geen invloed op de hoeveelheid sorteerproduct folie (en dus niet op de vergoeding). Ook heeft de maatregel, zo ver ons bekend, geen invloed op de marktwaarde van het sorteerproduct Folie. Het recyclingbedrijf zal fors moeten investeren in nieuwe apparatuur en structureel meer kosten maken. De verwachting is dat deze meerkosten worden terugverdiend uit de meeropbrengsten van de zuiverdere gerecycleerde producten. Belangrijk zijn de energiekosten, die nodig zijn om de foliesnippers met warm water te kunnen wassen. Of men zal een goedkope bron van warmte moeten bezitten of deze warmte efficiënt hergebruiken, om de energiekosten betaalbaar te houden.

5 Acceptatie van de maatregel.

De verwachte acceptatie voor meer circulaire kunststoftoepassingen is in het algemeen hoog.

6 Technische gereedheid van de maatregel

De installaties bij Cedo, Saica en Attero zijn inmiddels gebouwd en zijn operationeel.

3.4.3 Sorteren en (chemisch) recyclen van PET trays

Sinds 2015 houden de sorteerbedrijven de PET schalen apart en slaan ze op totdat er een recyclingbedrijf in staat is om ze te recyclen. Meerdere bedrijven zijn bezig om een verwerkingstechniek te ontwikkelen voor het nieuwe sorteerproduct PET-schalen. Dat blijkt niet eenvoudig omdat reguliere, mechanische recycling een recyclaat oplevert met een ongunstige polymeersamenstelling en matig tot slechte mechanische eigenschappen [Thoden van Velzen 2017]. Bovendien zijn de massaopbrengsten hiervan relatief laag omdat er veel verontreinigingen afgescheiden moeten worden, waardoor het voor recyclingbedrijven financieel weinig aantrekkelijk is [Thoden van Velzen 2017]. Toch zijn er meerdere initiatieven bekend:

1. Het Zuid-Spaanse Sulayr heeft een nieuwe scheidingstechnologie ontwikkeld om multilaag-kunststoffen te splitsen in de verschillende lagen en die dan met conventionele dichtheidsscheiding te scheiden. Deze technologie vereist wel dat de PET schalen conventioneel worden opgewerkt tot gewassen en gedroogd maalgoed. Dit maakt deze verwerkingsroute relatief duur. Meerdere vertegenwoordigers van Nederlandse sorteerbedrijven geven aan dat er testen zijn uitgevoerd bij dit bedrijf, maar dat het nog niet tot reguliere business is gekomen. Het is dus ook onduidelijk hoe deze optie zich zal gaan ontwikkelen en welke kwaliteit het behandelde maalgoed zal hebben.
2. Een concreter initiatief is het start-up bedrijf Ioniqa. Ioniqa heeft een chemisch recyclingproces ontwikkeld dat zeer geschikt is voor PET schalen, maar ook voor andere soorten PET-afval (textiel, gekleurde en opake PET flessen, uitval van de reguliere flessenrecycling, etc.). Dit nieuwe proces zet PET om in BHET (bis-2-hydroxyethyl-tereftalaat) wat als grondstof kan dienen voor nieuwe PET resins maar ook voor allerlei andere toepassingen. Ioniqa streeft naar een 10 kton verwerkingsinstallatie die grofweg

zo'n 7 kton BHET kan produceren. Ze hebben in 2016 en 2017 een pilot plant gehuurd in Rotterdam en voeren pilottesten uit.

3. Een ander concreet initiatief is 4PET te Duiven. Zij hebben recent aangegeven een recyclinginstallatie te bouwen voor PET schalen die medio 2018 operationeel zou zijn [Persbericht 4PET]. Hierbij geven ze aan dat het materiaal met een "industriële detergent" behandeld wordt waarna de verschillende kunststoffen gescheiden kunnen worden. Hierdoor zou tray-to-tray recycling mogelijk worden. Bij ons zijn geen detergentia bekend die PET-PE kunnen scheiden, alleen organische oplosmiddelen. Desalniettemin, als 4PET dit voor elkaar krijgt zal dit een enorme vooruitgang zijn. Het is aan 4PET om technisch aan te tonen dat dit kan.

Ook andere bedrijven beweren ook een recyclingroute voor PET-schalen te hebben ontwikkeld. Deze maken echter niet aannemelijk hoe er met de polymere verontreinigingen wordt omgegaan (afschieden of inmengen tot een laagwaardig product). Volgens Edward Kosior en Kim Ragaert kan dit alleen door hoge concentraties van een duur soort compatibilizer toe te voegen. Voorlopig worden deze initiatieven niet meegenomen. Dit kan veranderen als er publieke informatie beschikbaar komt die dat zou rechtvaardigen.

Het sorteren van PET schalen is in het model opgenomen als een extra sorteerproduct. 90% van de PET vormvast verpakkingen die normaliter in de MIX terecht komen zijn meegenomen in het PET schalen sorteerproduct. De overige 10% blijft in de MIX. De verdeling van PET schalen over de andere sorteerproducten is niet aangepast. In dit rapport volgen we de recyclingroute van Ioniqa omdat dit proces technisch bewezen is op pilot-schaal.

1 Netto-materiaal-rendement

Het netto-materiaal-rendement zal stijgen van $20 \pm 2\%$ naar $23 \pm 2\%$ doordat er materiaal uit de MIX naar een nieuw sorteerproduct wordt geleid. In de MIX leidt het alleen tot een vermindering van het tot alleen bijproduct en in het nieuwe sorteerproduct leidt het tot een nieuw hoofdproduct.

PET-schalen werden tot 1 jan 2015 aan de MIX toegevoegd. Voor de 4 MIX-recyclingbedrijven vormen deze PET-schalen echter een afvalstroom. Ze stuurden hun zinkend bijproduct (waarin de PET schalen terechtkomen) naar de asfaltindustrie of verwerkten het in binnenlagen van ruwe *plastic lumber* producten. Door de PET-schalen apart te houden en separaat te recyclen wordt een groot probleem in de (Nederlandse) recyclingketen voor kunststofverpakkingen opgelost.

Verwacht wordt dat er tot ongeveer 30 kton/jaar aan PET schalen in Nederland beschikbaar zou kunnen komen. Onze berekeningen laten zien dat er $9,4 \pm 0,5$ kton nu kan worden ingezameld en nagescheiden. Dus de 10 kton capaciteit van Ioniqa zou een goed begin zijn.

Het levert dus een grotere hoeveelheid recycalaat op. Ioniqa streeft naar 7 kton/jaar BHET, wat zijn weerslag heeft in de stijging van het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

De gemiddelde polymeer-zuiverheid blijft binnen de fout gelijk op $91 \pm 6\%$. Aan de ene kant komt een relatief klein nieuw product bij met een hoge zuiverheid en aan de andere kant neemt de polymeer-zuiverheid van het grootste product (MIX) in zeer geringe mate toe.

3 Toepasbaarheid hoofdproducten.

Het BHET product zal op de internationale grondstoffen markt verkocht kunnen worden. Het PET gehalte van het bijproduct uit de MIX recycling neemt af. Dit vertaalt zich niet direct in een bredere toepasbaarheid van dit bijproduct omdat het PVC bevat.

4 Financiële effecten

De financiële effecten zijn nu nog lastig in te schatten. Het is wel duidelijk is dat de verwerkingskosten voor MIX zullen dalen. De PET schalen werden namelijk tot 2015 aan de MIX toegevoegd en dus ook met de MIX gerecycleerd tegen betaling. Dit heeft een tweedelig effect:

1. Er wordt minder Mix geproduceerd dat moet worden afgezet.
2. Er wordt een extra sorteerproduct gecreëerd, welke waarschijnlijk kosteloos kan worden afgezet.

De MIX wordt afgezet voor ongeveer 115 €/ton⁶. In het referentiescenario was er 56 ± 8 kton aan MIX met zo'n 10 ± 5 kton aan PET schalen. Als al deze PET-schalen worden afgescheiden en apart worden gerecycleerd scheelt dat ongeveer 1,2 M€/jaar voor het Afvalfonds.

Daarnaast worden er op dit moment opslagkosten in rekening gebracht aan de gemeenten voor het PET schalen sorteerproduct dat nog niet verwerkt kunnen worden, en al wel gesorteerd is.

Mogelijkerwijs is er ook een indirect effect op het verwerkingstarief voor MIX. Als de PET-schalen grotendeels uit de Mix worden verwijderd, zal het gewenste polyolefine-gehalte stijgen, waardoor de relatieve waarde voor de verwerkers stijgen en het verwerkingstarief waarschijnlijk zal dalen. Dit is echter nog lang niet zeker, omdat er in Europa een tekort is aan MIX verwerkers, waardoor ze een hoog verwerkingstarief kunnen blijven vragen.

5 Acceptatie van de maatregel.

De verwachte acceptatie voor meer hergebruik is in het algemeen hoog. Omdat chemische recycling van PET-schalen de potentie heeft om hier weer nieuwe PET mee te maken voor *food-grade* toepassingen, is er mogelijk ook een winst in de hoeveelheid verpakkingen die circulair kunnen worden hergebruikt.

⁶ Het verwerkingstarief voor sorteerproduct MIX varieert met de samenstelling en de afnemer. Voor de verwerking van MIX die verarmt is aan PET wordt -70 €/ton, terwijl er voor de verwerking van PET-rijke MIX -150 €/ton moet worden betaald.

6 Technische gereedheid.

Sinds 2015 worden PET schalen al apart gesorteerd en opgeslagen voor verdere verwerking. De recyclinginstallatie bij Ioniqa zou in 2018-2019 gebouwd gaan worden. De recyclinginstallatie van 4PET gaat in 2018 gebouwd worden. Van de andere initiatieven ontbreekt informatie.

3.4.4 *Alternatieve verwerkingswijzen voor MIX*

Door de stijging van de verwerkingstarieven voor MIX in de afgelopen jaren, wordt het aantrekkelijk om alternatieve verwerkingswijzen te ontwikkelen en aan te bieden. Zo overwegen meerdere ondernemers, die nog anoniem wensen te blijven, om toegesneden recyclingbedrijven voor de Nederlandse MIX te beginnen en hieruit een mengpolyolefine te produceren en enkele bijproducten. Deze plannen zijn echter nog te weinig concreet om nu als industriële beleids optie door te rekenen. Concreter zijn de plannen ten aanzien van het (gedeeltelijk) chemisch recyclen van enkele kunststofafvalstromen in Nederland, waar MIX eventueel aan toegevoegd zou kunnen worden.

Het chemisch recyclen van mengkunststof bestaat uit twee stappen; pyrolyse en kraken. Hiervan is de eerste stap bewezen; door pyrolyse de kunststoffen af te breken in pyrolyse-olie [Aguodo 2008, Al-Salem 2017, Brems 2012]. Dit is meestal een zware koolwaterstof die overeenkomsten vertoont met bunkerolie en scheepsbrandstof en soms ook een tweede product dat op nafta lijkt. Pyrolyse zelf is dus een techniek die kunststofafval strikt genomen niet recyclet, maar eerder een nuttige toepassing die het kunststofafval omzet in brandstof en andere halffabricaten. Er is een tweede stap nodig om deze pyrolyseolie om te zetten in monomeren voor nieuwe kunststoffen en dat is kraken. De kwaliteit van deze pyrolyseproducten is niet direct vergelijkbaar met aardoliedestillaat en nafta en daardoor zijn mogelijk nog aanpassingen nodig om het te kunnen invoeren in petrochemische kraakinstallaties en dan etheen en propaan te maken en daarmee weer kunststoffen. Als de mengkunststoffen vervuild zijn met etensresten wordt er zwavel en chloor in het systeem gebracht, wat doorgaans slecht is voor de gebruikte katalysator. De mengkunststoffen moeten dus schoon en droog zijn. Het grote voordeel van chemisch recyclen van mengkunststof is dat het financieel gunstiger lijkt te zijn dan mechanische recycling, waarbij bijbetaling door het Afvalfonds nodig is om het materiaal te verwerken. Daar staat een mogelijk nadeel tegenover dat de massarendementen van afvalkunststof naar pyrolyse-olie 50-70% is en dat er dus veel materiaal gelijktijdig vergast. Met dit gas wordt de pyrolyse-eenheid gestookt. Bovendien wordt er bijna altijd een bijproduct gemaakt als teer, bitumen of koolpoeder. Afhankelijk van de chemische samenstelling van dit bijproduct, kan dit een toepassing krijgen of zal het als chemisch afval moeten worden vernietigd. In het laatste geval is het bijna onmogelijk om het pyrolyse-proces bedrijfseconomisch lonend te krijgen.

Het is duidelijk dat het afvalbedrijf BEWA uit Moerdijk heeft geïnvesteerd in een pyrolyse-installatie om gemengd bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval te kunnen omzetten in brandstof. Deze installatie is vertraagd doordat de vergunningsverlening meer tijd vergde. De voorzichtige inschatting is nu dat deze in het voorjaar van 2018 operationeel zal zijn. Ook is er in Weert een nieuw initiatief (Fuenix) dat ook gericht is op pyrolyse van afvalkunststof tot brandstof [Mellema

2017]. Dit zijn fors verschillende uitvoeringsvormen van pyrolyse, met sterk uiteenlopende gevoeligheden voor stoorstoffen. Voorlopig lijkt het dus verstandig om te wachten op de ervaringen van beide initiatieven.

Een algemeen punt van aandacht bij chemisch recyclen van MIX is de schaalgrootte. Als alle MIX gemaakt van huishoudelijke kunststofverpakkingen chemisch wordt gerecycled, met nieuw te bouwen installaties, zou er grofweg 28-39 kton/jaar pyrolyse-olie worden gemaakt. Dat lijkt een enorme hoeveelheid. Echter, de petrochemie kent een heel andere schaalgrootte. Daar is een 200 kton/jaar kraakinstallatie relatief klein. Omdat bovendien de structuur en samenstelling van pyrolyseolie afwijkt van ruwe aardolie, zal een nieuwe kraakinstallatie compleet opnieuw ontworpen moeten worden. Dus hier spelen nog twee marktbarrières: 1) kunnen we voldoende afvalkunststof verzamelen om te pyrolyseren en dit te laten verwerken in een toegesneden kraakinstallatie en 2) wie gaat de engineering voor zo'n aangepaste kraakinstallatie betalen?

1 Netto-materiaal-rendement

Het is nog lastig om een netto-materiaal-rendement te kunnen inschatten. Dit komt omdat er in het netto-materiaal-rendement van het basismodel ($20 \pm 2\%$) alleen het hoofdproduct uit MIX wordt meegenomen (20 ± 4 kton,) terwijl er relatief veel zinkend bijproduct (21 ± 5 kton) gevormd wordt dat niet wordt meegenomen. Bij het pyrolyseren van de MIX verwachten we ook een beperkt materiaalrendement, maar om een andere reden, namelijk dat een fors deel van het materiaal vergast moet worden om de energie voor de pyrolyse te leveren. Als alle gesorteerde MIX niet meer mechanisch zal worden gerecycleerd maar chemisch, komt dat neer op 56 ± 9 kton Mix. Uitgaande van een opbrengst van 50-70% levert dit dus 28-39 kton pyrolyse-olie op. Deze pyrolyse-olie zal moeten worden gekraakt tot etheen, propeen, etc. Van deze tweede stap is het materiaalrendement onbekend en zal naar analogie van het kraken van aardolie waarschijnlijk een veelvoud aan kraakproducten geven waarvan er slechts een klein deel etheen en propeen zal zijn. Als we optimistisch veronderstellen dat het materiaalrendement van pyrolyseolie naar etheen en propeen 20% zou zijn, dan zou er uit de 56 ± 9 kton Mix dus in totaal 6 à 8 kton etheen en propeen kunnen worden gemaakt, dat weer geschikt is nog nieuwe verpakkingkunststoffen van te maken. En het materiaalrendement kan dus grof worden ingeschat op zo'n 14%.

2 Gemiddelde polymeer-zuiverheid

Deze maatregel heeft een grote invloed op de gemiddelde polymeer-zuiverheid, deze was $91 \pm 6\%$ in het basismodel en zal stijgen tot tenminste $94 \pm 4\%$ in het geval er geen mechanisch gerecycleerde MIX meer zal worden geproduceerd en dit vervangen zal worden door pyrolyse dat weer in het kraakproces zal worden gevoerd. De polymeerzuiverheid van het product uit de Mix zal namelijk door deze verwerkingsmethode stijgen naar 100%.

3 Toepasbaarheid eindproduct en zijstromen.

De toepasbaarheid van de recyclingproducten uit PET, PE, PP en Film blijft onveranderd. Het hoofdproduct uit de pyrolyse van MIX kan worden verkocht als ruwe brandstof, een vorm van diesel die geschikt zou zijn voor scheepsmotoren. Ook kan dit hoofdproduct waarschijnlijk worden ingevoerd in het kraakproces van ruwe olie om hieruit nieuw etheen en propeen te maken. Dit is echter nog niet zeker en zal waarschijnlijk aanpassingen vergen. Daarnaast zal er een kleine hoeveelheid teer of kool worden gevormd bij de pyrolyse. In vergelijking, het gerecycleerde hoofdproduct van MIX wordt nu toegepast in relatief zware toepassingen als verkeersbordvoeten, wegafscheiders, *plastic lumber*, oeverbeschoeiing, steigers, etc.

4 Financiële effecten

In het geval de gesorteerde MIX niet meer voor gemiddeld -115 €/ton⁶ verkocht hoeft te worden, maar kostenneutraal weg kan, scheelt dat het Afvalfonds verpakkingen 6,4 M€/jaar. Dit is op zich een forse besparing. Andere wezenlijke financiële effecten worden niet verwacht, omdat verwacht wordt dat de investeringskosten en operationele kosten voor pyrolyse betaald kunnen worden uit de opbrengsten van de verkoop van de pyrolyse-olie.

5 Acceptatie van de maatregel.

De acceptatie van chemisch recycleren van kunststofafval is nog niet groot. Uit vroege literatuur kan worden opgemaakt dat het ingewikkelde en gevoelige processen zijn die een goede voorbehandeling behoeven, in het bijzonder de verwijdering van halogenen die de katalysatoren kunnen vergiftigen [Brandrup 1996]. Toch zijn er recent positievere ervaringen [Al Salem 2017, Brems 2012, Aguado 2008]. Voor de rijksoverheid speelt de meer fundamentele vraag: welke vorm van chemische recycling is wel gewenst en welke niet? En daarmee indirect: welke vorm van recycleren heeft recht op een vergoeding van het Afvalfonds voor het inzamelen en sorteren? Tot nu toe was die grens duidelijk: mechanisch recycleren is gewenst, chemisch recycleren is dit niet. Echter, enkele belanghebbenden beginnen te begrijpen dat het mechanisch recycleren van MIX ook nadelen heeft (geringe marktvraag voor de producten hiervan en gebrek aan verwerkingscapaciteit) en dat er nieuwe oplossingen nodig zijn. Dus chemisch recycleren zal niet gelijk breed geaccepteerd worden, maar verwacht wordt dat het draagvlak wel groter gaat worden.

6 Technische gereedheid van de maatregel

Het pyrolyse-proces van MIX tot pyrolyse-olie is technisch bewezen. Het kraakproces van deze pyrolyse-olie naar monomeren als etheen en propeen is dat nog niet. Daarmee is circulaire chemische recycling van MIX nu nog niet mogelijk, er kan nu alleen nog een brandstof uit geproduceerd worden.

3.4.5 *Magnetische dichtheidsscheiding*

Magnetische dichtheidsscheiding (MDS) is een verbeterde dichtheidsscheidingstechniek ten opzichte van de conventioneel gebruikte drijf-zink-scheidingstechniek. Deze techniek is dan ook primair geschikt om te worden toegepast bij het recyclingbedrijf. De techniek is relatief goed beschreven in de literatuur, voor het scheiden van gewassen PE-PP maalgoed uit huisvuil [Serranti 2015] en het opwaarderen van PVC rijke kunststofafvalstromen [Luciani 2015]. In het geval de configuratie van scheidingstechnieken (MDS en NIR flake sorteren) wordt aangepast aan de samenstelling van het ingaande maalgoed kan er maalgoed met een zuiverheid van 99% worden bereikt.

MDS is momenteel operationeel bij Van Werven in Biddinghuizen en wordt nu getest met diverse soorten gewassen maalgoederen. Belangrijk is dat het ingaande kunststof maalgoed schoon is en dat er geen stoorstoffen aanwezig zijn (textielvezels, papier, etc.). De maalgoed wordt eerst gewindzift, bevochtigd en in het scheidingsbassin gebracht. Hierbij wordt met relatief hoge snelheid en behoudt van laminaire stroming het maalgoed op dichtheid gescheiden, waarbij gedispergeerde ijzerdeeltjes en magneten helpen om deze dichtheidsscheiding te bevorderen. Aan de eindzijde van het bassin worden op verschillende hoogtes de gescheiden maalgoederen afgevoerd en gedroogd. Deze techniek is operationeel en vereist goed opgeleide operators. De ervaring leert dat de techniek goed functioneert met relatief fijn (< 12 mm) maalgoed van vormvaste verpakkingen en minder goed moet met snippers van gewassen folie-materiaal. Voor de MDS techniek in de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen zien wij drie toepassingswijzen:

- A Opwerken van de hoofdproducten van PET, PE en PP tot zuiverdere maalgoederen met een hogere waarde en betere inzetbaarheid,
- B Opwerking van de bijproducten uit PE en PP recycling, zodat er PVC-arme bijproducten worden geproduceerd die mogelijk wel als materiaal zijn her te gebruiken,
- C Integrale systeemverandering waarbij conventionele mechanische recycling en MDS het sorteerproces vervangt.

Deze drie mogelijke toepassingswijzen van MDS zullen nu apart worden toegelicht. Omdat er teveel onbekend is en het technische model ook niet geschikt is voor het uitwerken van beleidsopties met MDS, zal dit algemeen beschrijvend gebeuren en niet naar aanleiding van de 2 prestatie-indicatoren en 4 beoordelingscriteria.

A Opwerken hoofdproducten PET, PE en PP.

Het gewassen zinkend maalgoed uit PET recycling en het gewassen drijvend maalgoed uit PE en PP recycling kan verder worden gereinigd met een additionele MDS scheidingsstap.

Uit tabel 1 blijkt dat PET zinkend maalgoed dat met een eenvoudig mechanisch recyclingproces is gemaakt van sorteerproduct DKR 328-1 nog steeds kleine hoeveelheden van PP, PE, PS, PVC, papier, metaal, glas bevat. De MDS techniek zou dit verder kunnen reinigen en deze verontreinigingen grotendeels kunnen verwijderen. Dit lijkt echter weinig waarschijnlijk omdat de

PET recyclingindustrie al geavanceerde recyclingprocessen (met windziften vooraf en flake-sortering achteraf) heeft ontwikkeld waarmee de meeste verontreinigingen kunnen worden verwijderd [Thoden van Velzen et al 2016]. Hierin is geïnvesteerd en dit is operationeel. Bij PE ligt dit mogelijk anders. Het drijvend maalgoed dat gemaakt is met een standaard recyclingproces uit sorteerproduct DKR 329 bevat nog steeds 10 ± 2 % PP (uit gescheiden inzameling) of 8 ± 3 % PP (uit nascheiding) [Brouwer 2018]. Dit maalgoed kan momenteel op kleur worden gescheiden rond de 50% transparant-wit PE maalgoed wordt verkregen met rond de 98% zuiverheid. De consequentie is echter wel dat er ook een bont maalgoed met 50% massarendement wordt geproduceerd met een 20-25% PP gehalte. Dit materiaal kan in minder veeleisende toepassingen worden gebruikt. Een additionele MDS-scheiding heeft hier kwalitatief gezien meerwaarde en zou uit drijvend PE maalgoed direct een PE-product kunnen maken met een massarendement van rond de 90% en een zuiverheid van rond 98% en mogelijk daarnaast ook nog een PP-bijproduct. Door het hogere massarendement van MDS ten opzichte van de conventionele kleurscheiding is er dan meer PE-maalgoed van een relatief hoge kwaliteit beschikbaar. Uiteraard zal er nog een eventuele kleurscheiding nodig zijn om bepaalde deelmarkten te bedienen die alleen licht recycleat wensen. Daar staat dan tegenover dat er meerkosten zullen worden gemaakt met de MDS techniek, die nu alleen nog ruw kunnen worden geschat op 100 à 150 €/ton. Voor de meeste recyclingbedrijven zal er onvoldoende meerwaarde zijn om extra bont zuiver PE te maken om deze meerprijs te rechtvaardigen. Dit gaat alleen veranderen als de vraag naar PE recycleat met een hoge polymeer-zuiverheid verder toeneemt. De situatie met PP is vergelijkbaar met die van PE. Het enige onderscheid is dat de gehalten PE in PP in het drijvend maalgoed lager zijn.

Deze toepassing van MDS op de hoofdproducten uit recycling heeft waarschijnlijk een verwaarloosbare invloed op de netto-materiaal-rendementen maar zal de polymeer-zuiverheid van de producten wel verhogen. Er zijn meerkosten aan de techniek verbonden die onder marktomstandigheden, waarin veel vraag naar relatief zuiver recycleat bestaat, kunnen worden terugverdiend. Het is een maatregel die door het recyclingbedrijf zelf kan worden genomen.

B Opwerken bijproducten uit PE en PP recycling

De zinkende maalgoederen gemaakt met een eenvoudig recyclingproces uit de sorteerproducten DKR 324 en DKR 329 bevatten zo'n 35-40% PET, 15% PS, 15% PVC alsmede kleine hoeveelheden PE en PP [Brouwer 2018]. Het PVC gehalte hiervan is te hoog, zodat het niet mechanisch kan worden gerecycleerd en tegen relatief hoge kosten (circa 100 €/ton) wordt verbrand. Mogelijk is MDS hiervoor een goed alternatief. In theorie zou het kunnen worden afgesteld om hier tenminste drie producten van te maken: PET, PS-PO-mengproduct en PVC. Dit kan financieel aantrekkelijk zijn omdat er potentieel verbrandingskosten worden vermeden en nieuwe grondstoffen worden geproduceerd. Een praktijkproef is nodig om de haalbaarheid hiervan vast te stellen. In het geval de bijproducten uit PE en PP recycling wel gerecycled kunnen worden en dus meegenomen worden in het netto-materiaalrendement, zou dit rendement stijgen van 20 ± 2 % naar 21 ± 2 %.

Deze toepassing van MDS op de bijproducten heeft een kleine positieve invloed op het netto-keten-rendement en zal weinig invloed hebben op de overall polymeer-zuiverheid. De meerkosten van de techniek kan mogelijk worden terugverdiend. Het is een maatregel die door het recyclingbedrijf zelf kan worden genomen.

C Integrale toepassing

Medewerkers van Urban Mining Corp die de MDS techniek exploiteren geven aan dat zij de grootste verwachtingen hebben van een integrale toepassing waarbij deze techniek wordt toegepast als gedeeltelijke vervanger van het sorteerbijproduct en het recyclingbedrijf. Idealiter zal het gescheiden ingezamelde of nagescheiden kunststof direct worden gemalen en gewassen en zou dit natte maalgoed direct met MDS op dichtheid worden gescheiden. Een groot voordeel van een dergelijke toepassing zou zijn, dat de vorming van MIX wordt vermeden en dus een grote kostenpost. Een tweede voordeel zou zijn dat de producten van bovengemiddeld hoge kwaliteit zullen zijn. Dit is een aantrekkelijke gedachte en verdient verder technisch onderzoek. In het gunstigste geval zou dit kunnen leiden tot een forse daling in de overall systeemkosten. Daar staat dan wel tegenover dat er dan forse investeringen nodig zullen zijn en dat dit recyclingsysteem tegen belangen in gaat van een aantal van de huidige spelers op de markt, zodat er tegenwerking kan worden verwacht.

Deze toepassing van MDS kan niet met het huidige model worden onderzocht. Wel kunnen we met de basisgegevens van het model enkele verkennende berekeningen uitvoeren. Als de MDS techniek wordt toegepast op huishoudelijk ingezameld PMD-materiaal zal er toch een sortering nodig zijn, alhoewel deze sortering beperkter van aard zal zijn dan de huidige. Het is namelijk nodig om de metaalverpakkingen af te scheiden, de drankkartons af te scheiden en het kunststoffolie-materiaal met een windzifter uit te blazen. De toepassing behelst dat dit mengsel van harde kunststoffen dan direct naar een mechanisch recyclingproces zou gaan met aansluitend een MDS.

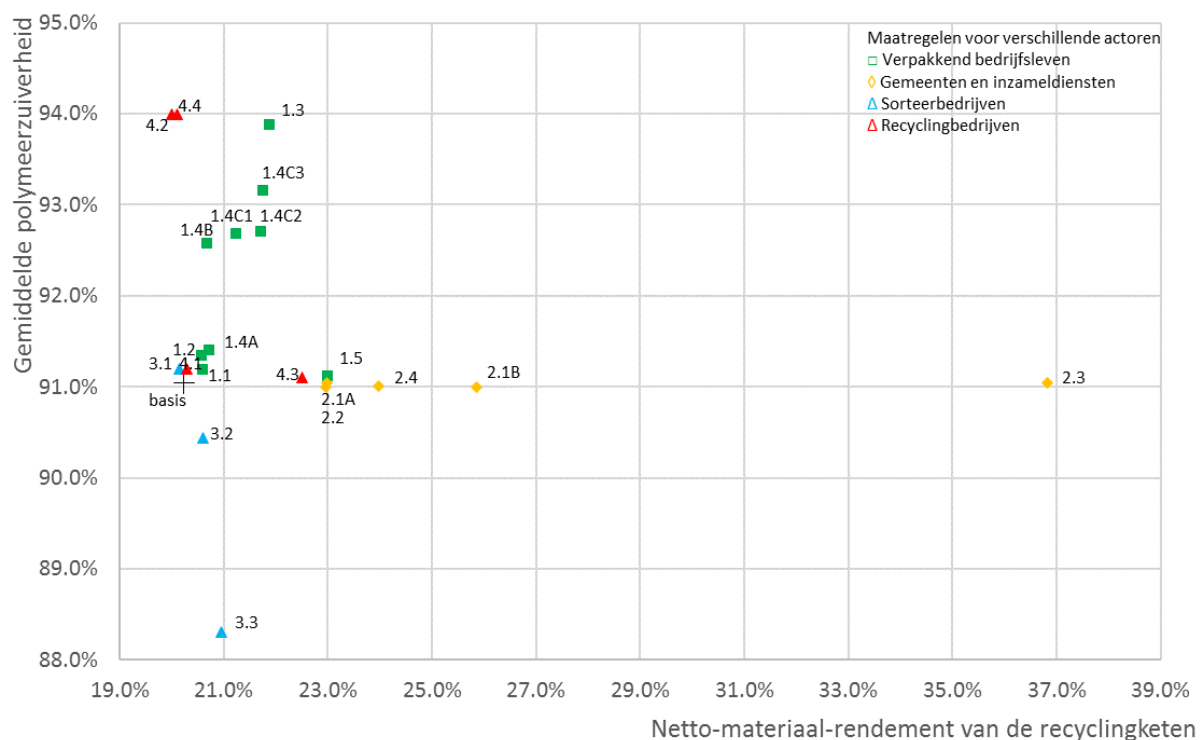
Als eerste ruwe inschatting zou er dan idealiter 40% PET maalgoed (zowel zuivere PET uit flessen als een mengsel uit schalen), 19% PE maalgoed, 28% PP maalgoed, 9% PS maalgoed en 3% PVC maalgoed worden geproduceerd. Opgemerkt moet worden dat dit niet meer dan eerste ruwe inschatting is en dat een deel van de verpakking-eigen-vreemd-kunststoffen folies zijn, die of bij de MDS worden afgescheiden met de windzifter of niet ideaal gescheiden zullen worden. Daar staat tegenover dat de vorming van MIX en een sorteerrest met zwarte kunststoffen wordt voorkomen en dat dit aspect deze techniek juist weer aantrekkelijk maakt voor de totale hergebruiksketen.

Als MDS succesvol kan worden toegepast, en de maalgoederen kunnen verkocht worden dan wordt een deel van de sorteerkosten en de hoge kosten met de afzet van MIX vermeden. En worden er wel polymeer-zuivere maalgoederen worden gevormd. Ervan uitgaande dat de kosten voor sorteren 100 €/ton bedragen, voor het conventioneel mechanisch recyclen 250 €/ton en voor de MDS 100-150 €/ton, zijn de totale proceskosten 450-500 €/ton. Of deze kosten kunnen worden terugverdiend, zal afhangen van de opbrengsten van de gescheiden maalgoederen en die

voornamelijk worden bepaald door hun polymeer-zuiverheid. In het geval deze maalgoederen hoog zuiver zijn (95-98%), zal het geen probleem zijn om hier 500 €/ton of meer voor te krijgen en wordt het financiële break-even punt bereikt. In de huidige recyclingketen moet er netto een sorteervergoeding en een vermarkting-vergoeding worden betaald van rond de $150 + 90 = 240$ €/ton. Dus een integrale toepassing van MDS is mogelijkwijs interessant vanuit zowel maatschappelijk als financieel perspectief. Het is dan wel nodig dat bewezen wordt dat er vanuit een mengsel van kunststof-verpakkingen hoog-zuivere ($> 95\%$) maalgoederen kunnen worden gemaakt. Als dit lukt zal deze toepassing leiden tot een hoger ketenrendement (want bijproductvorming wordt beperkt) en hogere polymeer-zuiverheden. Omdat er bij deze toepassing de medewerking van meerdere ketenspelers nodig is, verwachten wij dat de implementatie hiervan niet eenvoudig zal zijn.

3.5 Algemeen overzicht van de maatregelen en hun effect

De invloed van de beleidsopties op de mate van circulariteit van het hergebruikssysteem staan schematisch uitgebeeld in Figuur 4 en Figuur 5. In Figuur 4 staat afgebeeld het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen als maat voor de hoeveelheid recyclebaar dat kan worden geproduceerd tegen de gemiddelde polymeer-zuiverheid van alle hoofdproducten als maat voor de kwaliteit van het recyclebaar. In Figuur 5 staat in principe dezelfde figuur maar dan als maat voor de kwaliteit van de recycling de gemiddelde polymeerzuiverheid van de hoofdproducten uit de waarde-fracties (PET, PE en PP). In Bijlage C zijn de bijbehorende waarden weergegeven.

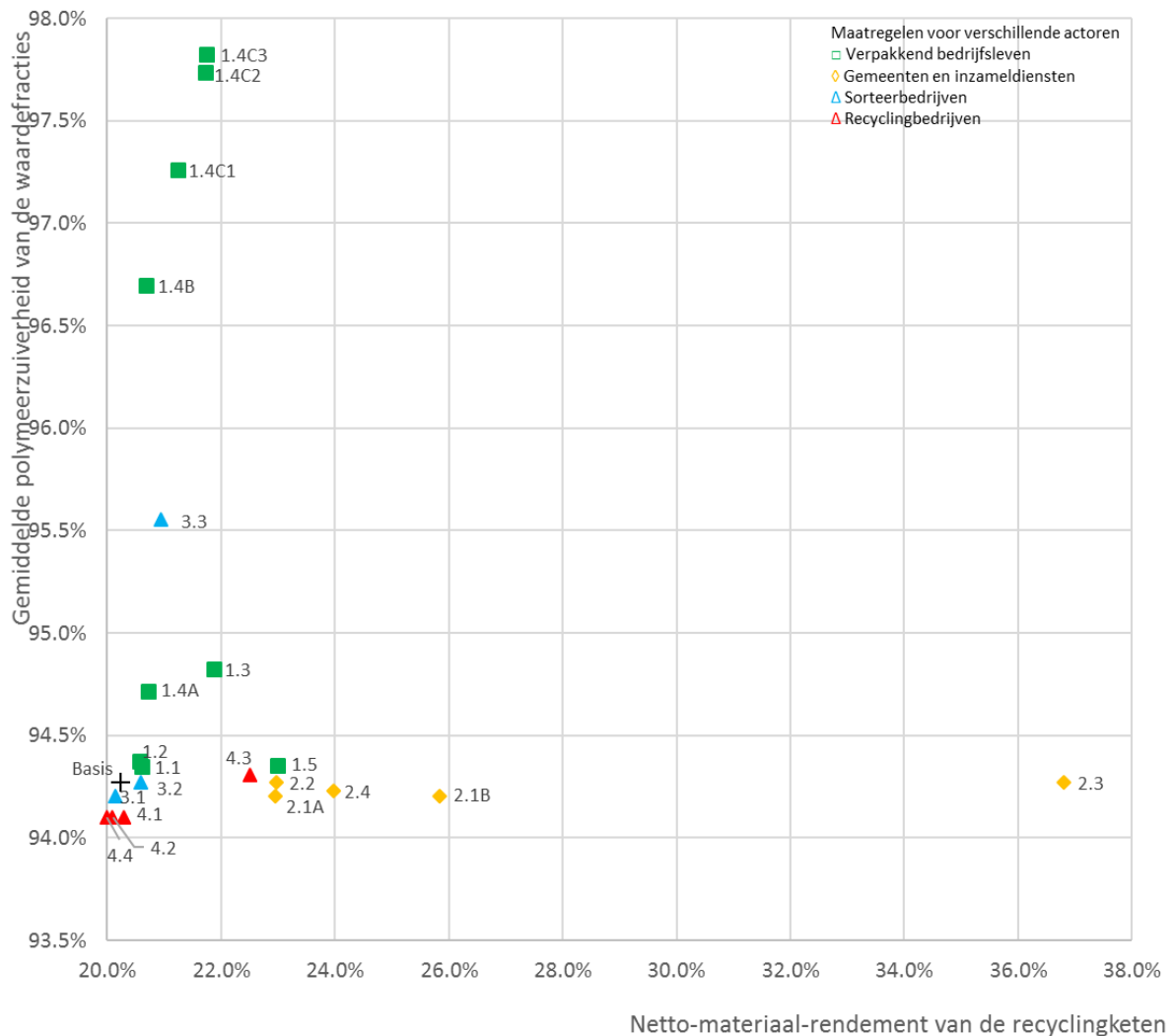


Figuur 4: Mate van circulariteit van het hergebruikssysteem; netto-materiaal-rendement van de recyclingketen versus polymeerzuiverheid van alle hoofdproducten.

Hierbij valt op dat de beleidsopties van verpakkende bedrijfsleven (de codes beginnend met een 1 in figuren 4 en 5, ■ de groene blokjes) in het algemeen veel invloed hebben op de kwaliteit (polymeer-zuiverheid) van het gewassen maalgoed. Voor wat betreft de polymeer-zuiverheid van de producten van de waarde-fracties (Figuur 4), zijn het de enige maatregelen die de zuiverheid echt verhogen, met uitzondering van een maatregel: 3.3 beter sorteren. Dus in het geval men streeft naar zuiverdere producten uit de recyclingketen dan is de medewerking van het verpakkend bedrijfsleven onontbeerlijk. Vooral *design-for-recycling*-maatregelen (1.4A-1.4C3) zijn hiervoor cruciaal.

Daar staat tegenover dat de beleidsopties voor gemeenten en inzameldiensten (de codes beginnend met een 2 in de figuren 4 en 5, ◆ de oranje ruiten) in het algemeen veel invloed hebben op de kwantiteit (netto materiaal rendement van recycling-keten). Het zijn de enige

beleidsopties waarmee het netto-materiaal-rendement significant wordt verhoogd (naast de opties 1.5 en 4.3). Dus in het geval men streeft naar een kwantitatief meer circulaire keten, dan zijn maatregelen bij de gemeenten en de inzameldiensten onontbeerlijk.



Figuur 5: Mate van circulariteit van het hergebruikssysteem; netto-materiaal-rendement van de recycling-keten ten opzichte van polymeerzuiverheid van waarde-fracties.

De beleidsopties van de sorteer- en recyclingbedrijven (codes beginnend met een 3 en een 4, ▲ de blauwe en ▲ de rode driehoeken) hebben in verhouding een relatief minder grote invloed op de circulariteit van het totale recyclingsysteem. De meeste opties voor deze ketenspelers resulteren in een iets minder wezenlijke verbetering van de circulariteit. Dit laat zien dat deze ketenspelers in sterke mate afhankelijk zijn van het beleid van de verpakkende industrie en de gemeenten & inzameldiensten. Twee beleidsopties hebben wel een overall-invoed op de circulariteit, dat zijn 3.3 (beter sorteren) en 4.3 (sorteren en recyclen van PET schalen). Dat wil

niet zeggen dat deze spelers in een gecombineerd beleid geen rol kunnen spelen, dit zal verder worden onderzocht in de volgende stap in dit onderzoek.

Andere opties als 4.1 PE bottle-to-bottle en 4.2 PE film-to-film recycling leveren tegelijkertijd een zuiverder hoofdproduct en een minder zuiver bijproduct, waardoor de overall-zuiverheid niet stijgt. Desalniettemin zijn dit overduidelijke verbeteringen van de circulariteit, maar die blijken dus niet uit deze twee algemene prestatie-indicatoren.

Bij beleids optie 3.3 (maximaal effectief sorteren) daalt de normaal gemiddelde polymeer-zuiverheid van de maalgoederen. Dit lijkt niet te kloppen. Hierbij worden immers goed recycleerbare PE en PP verpakkingen die nu nog veel in de MIX terecht komen, beter gesorteerd en komen ze wel in de PE en de PP sorteerproducten terecht. Hierdoor stijgt de polymeer-zuiverheid van de PE en de PP producten terwijl die van de MIX daalt. Daarmee daalt de gemiddelde polymeerzuiverheid van alle hoofdproducten (in figuur 3), terwijl de gemiddelde polymeerzuiverheid van de waarde-fracties (in figuur 5) juist stijgt.

Duidelijk uit de figuren 4 en 5 is dat gemeenten & inzameldiensten vooral het netto-materiaal-rendement kunnen bevorderen en dat het verpakkende bedrijfsleven vooral de polymeer-zuiverheid kan bevorderen. De hier berekende maximale waarde voor het netto-materiaal-rendement van de recyclingketen (37%) is nog ver verwijderd van de 100% die nodig zou zijn voor een gesloten circulaire economie. De polymeer-zuiverheden van 98% die bereikt kunnen worden met de verdergaande *design-for-recycling* maatregelen sluiten wel goed aan wat er kwalitatief nodig is voor een circulaire economie.

4 Aanvullende inzichten na consultatie belanghebbenden

De conceptresultaten van deze studie werden besproken met vertegenwoordigers van verschillende belanghebbenden (zie Tabel 1). Hieruit bleek dat de belanghebbenden de resultaten van deze studie in algemene zin konden onderschrijven. Alleen bij de optie “PMD inzamelen” (opties 2.1A en 2.1B) bleken de modelresultaten niet het volledige beeld te geven van de effecten die nu na de invoering van PMD inzamelen worden waargenomen. Bijna alle belanghebbenden bleken aanvullende inzichten te hebben over wat er precies tussen 2015 en 2017 heeft plaatsgevonden en hoe “PMD inzamelen” (opties 2.1A en 2.1B) het beste zouden kunnen worden gemodelleerd. Bij socio-technologische transitie, zoals het doorvoeren van beleidsopties in de recyclingketen voor kunststofverpakkingen, is het belangrijk rekening te houden met zowel de technologie zelf, als de ‘wereld’ (*landscape/regime*) waarin deze technologie zich bevindt. Dit wordt ook wel het *multi-level perspective* genoemd [Geels, 2002]. Daarom zijn inzichten over de recente ontwikkelingen verzameld in Bijlage D.

Hieruit blijkt dat in de afgelopen jaren niet alleen het PMD inzamelen massaal is ingevoerd, maar dat gelijktijdig ook de ketenregie is veranderd. Dit heeft verschillende veranderingen in de keten teweeggebracht. Om dit verder modelmatig te onderbouwen, werden aanvullende modelberekeningen uitgevoerd (zie paragraaf 4.1).

4.1 Aanvullende modelberekening PMD inzamelen + aangepast sorteerbeleid

In het recente verleden (2015-2017) hebben er drie grote veranderingen gelijktijdig plaatsgevonden, zie Appendix 1;

1. De bruto hoeveelheid ingezameld verpakkingsmateriaal (P+PD+PMD) steeg fors,
2. De concentratie kunststofverpakkingen was lager in het ingezamelde materiaal om twee redenen:
 - a. deels omdat de inzamelportfolio werd verruimd naar van P naar PD en PMD zodat het gehalte kunststofverpakkingen relatief kleiner werd,
 - b. deels omdat het gehalte restafval in het ingezamelde materiaal steeg,
3. Bijna alle sorteerbedrijven zijn bewust dicht op de grens van de specificaties gaan sorteren, omdat in de huidige beloningssystematiek wordt afgerekend op hoeveelheden en nauwelijks op kwaliteit.

Hierbij rijst de vraag of het model geschikt om de effecten van deze drie veranderingen te begrijpen, zodat de consequenties voor het hergebruikssysteem duidelijker worden en deze modelresultaten dichterbij de huidige praktijk liggen.

Deze veranderingen werden geconcretiseerd door het rekenmodel met de beleidsoptie PMD-inzameling in 2016 te nemen (paragraaf 3.2.1) waarin de toename van de bruto hoeveelheid ingezamelde verpakkingen al is meegenomen en daarop de volgende aanpassingen uit te voeren:

- De hoeveelheid restafval in het ingezamelde PMD-materiaal werd gevarieerd tussen de minimaal aangetroffen hoeveelheid (4%) en de maximaal aangetroffen hoeveelheid (31%) in een recent uitgevoerd onderzoek [Thoden van Velzen et al 2018]. Op basis van deze minimale en maximale hoeveelheden restafval in het ingezamelde PMD materiaal zijn de gehalten kunststof, drankenkartons, metaalverpakkingen en agglomeraten in gelijke onderlinge verhouding aangepast, zie Tabel 20.
- Het slechter sorteren werd gemodelleerd met staffels van 10 en 20%, waarmee de gehalten restafval in de sorteerproducten werden verhoogd en de percentages correct gesorteerde verpakkingstypen werden verlaagd en dus ook de percentages foutief gesorteerde verpakkingstypen in gelijke mate werden verhoogd.

Tabel 20: Verhoudingen P, M, D, Rest en Agglomeraten met een minimale en een maximale hoeveelheid restafval in het PMD materiaal.

	Plastic	Metaal	Drankenkartons	Rest	Agglomeraten
Minimale hoeveelheid rest	72%	9%	14%	4%	1%
Maximale hoeveelheid rest	52%	6%	10%	31%	1%

De gemodelleerde hoeveelheid restafval in de sorteerproducten met het model aangepast voor PMD-inzameling (paragraaf 3.2.1) en de variaties daarop met een minimale en maximale hoeveelheid restafval in het ingezamelde materiaal en met 2 staffels van 10% en 20% slechter sorteren staan in Tabel 21. Hieruit blijkt dat dit model de hoeveelheid restafval in de sorteerproducten laat stijgen en dat dit vooral opvalt voor het sorteerproduct MIX.

Tabel 21: Gemodelleerd gehalte restafval in sorteerproducten voor het normale PMD-model en de 4 variaties daarop [%]

	PMD	PMD Min Rest	PMD Max Rest	PMD + 10% slechter sorteren	PMD + 20% slechter sorteren
PET	1,1 ± 0,2	0,7 ± 0,1	2,0 ± 0,4	1,2 ± 0,2	1,3 ± 0,3
PE	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,2
PP	3,3 ± 0,6	2,5 ± 0,5	5,6 ± 1,0	3,5 ± 0,7	3,8 ± 0,7
Film	2,9 ± 0,5	2,6 ± 0,5	3,9 ± 0,7	3,5 ± 0,6	3,3 ± 0,7
MIX	25 ± 8	14 ± 4	45 ± 22	25 ± 8	25 ± 8

De gemodelleerde sorteerverdeling voor het PMD-model en de 4 variaties staat in Tabel 22. Hieruit blijkt dat de invloed van het gehalte restafval en het sorteerbeleid beide relatief beperkt is op de sorteerverdeling. De grootste effecten worden waargenomen voor de grootste fracties MIX, Film en sorteerrest. De hoeveelheid MIX stijgt met een stijgend gehalte restafval in het ingezamelde materiaal en met slechter sorteerbeleid. Dit was verwacht en zal waarschijnlijk bij

een combinatie van meer restafval en slechter sorteren leiden tot de hogere percentages van MIX die nu worden gemeld.

Tabel 22: Sorteerverdeling van kunststofverpakkingen die met PMD gescheiden zijn ingezameld, [%].

	PMD	PMD Min Rest	PMD Max Rest	PMD + 10% slechter sorteren	PMD + 20% slechter sorteren
PET	5 ± 1	6 ± 1	5 ± 1	5 ± 1	5 ± 1
PE	6 ± 1	7 ± 1	5 ± 1	6 ± 1	6 ± 1
PP	8 ± 2	9 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	7 ± 2
Film	17 ± 4	18 ± 4	14 ± 2	16 ± 4	16 ± 4
Mix	35 ± 12	33 ± 11	39 ± 20	36 ± 12	38 ± 12
Sorteerrest	16 ± 5	15 ± 5	20 ± 8	16 ± 5	16 ± 5
Afname vocht & vuil gehalte sorteerproces	1 ± 5	1 ± 5	1 ± 5	1 ± 5	1 ± 5
Drankenkartons, Blik, Aluminium	11 ± 2	12 ± 2	9 ± 2	11 ± 2	11 ± 2

De gemodelleerde hoeveelheid sorteerrest neemt, zoals verwacht, toe met een stijgend gehalte restafval in het ingezamelde materiaal, maar nauwelijks met een slechter sorteerbeleid. Meer restafval in het ingezamelde materiaal zou inderdaad bij normaal sorteerbeleid moeten leiden tot meer sorteerrest. Bij slechter sorteerbeleid is er een uitmiddeling; een deel van het ongewenste materiaal (restafval etc.) komt door slechter sorteren juist in de waarde-fracties terecht en een groter deel van de gewenste kunststofverpakkingen komt in de MIX en de rest terecht. Netto is er dan weinig verschil. De percentages sorteerrest die de huidige sorteerinstallaties met een menginput van P, PD en PMD en een slechter sorteerbeleid nu registreren variëren grofweg tussen de 15 en de 25%⁷.

⁷ Op basis van vertrouwelijke massabalansen van 4 verschillende Nederlandse en Duitse sorteerbedrijven die Nederlandse huishoudelijke kunststofverpakkingen sorteren.

Tabel 23: Netto materiaal rendement van de recyclingketen, polymeerzuiverheid van alle hoofdproducten en polymeerzuiverheid van de waarde-fracties.

	PMD	PMD Min Rest	PMD Max Rest	PMD + 10% slechter sorteren	PMD + 20% slechter sorteren
Netto materiaal rendement [%]	26 ± 2	27 ± 2	23 ± 2	26 ± 2	25 ± 2
Polymeerzuiverheid [%]	91 ± 6	91 ± 6	91 ± 6	91 ± 6	91 ± 6
Polymeerzuiverheid waarde-fracties [%]	94 ± 4	94 ± 4	94 ± 4	94 ± 4	94 ± 4

De invloed van de hoeveelheid restafval en het sorteerbeleid op het netto-materiaal-rendement en de polymeerzuiverheden van alle producten en waarde-fracties staan in Tabel 23.

Het netto-materiaal-rendement daalt als verwacht met toenemende hoeveelheden restafval in het PMD-materiaal. Het sorteerbeleid kan het netto-materiaalrendement ook beïnvloeden, maar deze invloed lijkt minder groot. Dit kan ook komen door de conservatief gekozen staffels van 10% en 20% slechter sorteren in tegenstelling tot een flinke verandering in de hoeveelheid restafval.

De polymeer-zuiverheid van de producten en de waarde-fracties lijkt niet te worden beïnvloed door het gehalte restafval in het ingezamelde PMD-materiaal en het sorteerbeleid. Dat is een effect van de wijze waarop deze veranderingen zijn gemodelleerd. Alle restafval wordt door de overdrachtscoëfficiënten voor mechanische recycling afgevoerd naar de zinkfracties, waardoor dit restafval geen impact heeft op de polymeerzuiverheid van de PE, PP, Folie en Mix maalgoederen. Bovendien zijn de overdracht coëfficiënten voor de polymeren gelijk gehouden. In de praktijk kan verwacht worden dat een grotere hoeveelheid restafval de overdrachtscoëfficiënten van zowel de rest materialen als de polymeren negatief zal beïnvloeden of dat er meer moeite moet worden gedaan in het mechanisch recyclingproces om een gelijkwaardig product te maken. Dat zal dan resulteren in een lagere polymeerzuiverheid van het gewassen maalgoed en/of een grotere hoeveelheid bijproducten.

Dit model kan dus de effecten van drie veranderingen die hebben opgetreden tussen 2015-2017 op de prestatie-indicatoren van de keten redelijk maar zeker niet perfect inzichtelijk maken. Wel kon juist worden voorspeld dat het netto-materiaal-rendement steeg en dat er relatief meer MIX en minder waarde-fracties (PET, PE, PP, Film) werden geproduceerd. Ook kon goed worden voorspeld dat de recycling van de sorteerproducten slechter is geworden en meer afvalstromen oplevert. Niet kon juist worden voorspeld met dit model dat de gemiddelde polymeer-zuiverheid van de producten zou zijn gedaald ten gevolge van de drie veranderingen.

Voor het vervolg is er gekozen om het model aan te gaan passen voor het nu dominante inzamelsysteem PMD en nu de verdelingen over de nieuwe sorteerproducten (metaal en

drankenkartons) wel goed mee te nemen. Hopelijk zal dit een scherper beeld geven wat er de afgelopen jaren is gebeurd en wat er maximaal mogelijk is met dit ingezamelde materiaal.

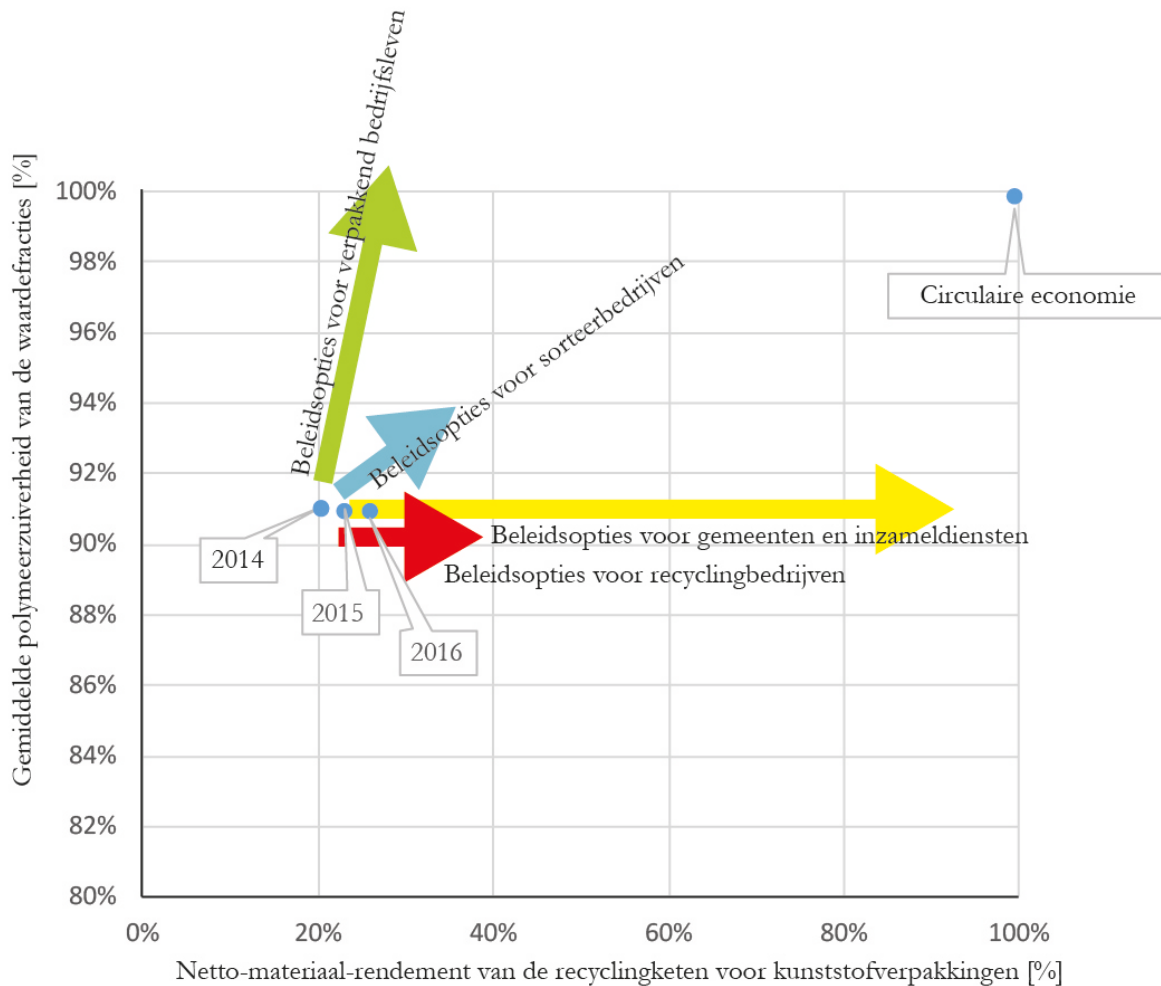
4.2 Conclusies ontwikkelingen 2015-2017

In de afgelopen jaren (2015-2017) is het brutogewicht ingezameld verpakkingsmateriaal fors gestegen, de concentratie kunststofverpakkingen in het ingezamelde materiaal gedaald en is het sorteerbeleid verslechterd, omdat in de huidige beloningsystematiek wordt afgerekend op hoeveelheden en nauwelijks op kwaliteit. Hierdoor werd er wel meer materiaal werd ingezameld en gerecycleerd, maar dat kwaliteit van de gewassen maalgoederen verbeterde niet. Dit terwijl juist nu de vraag naar recyclingproducten met een hogere polymere zuiverheid begint te toe te nemen nu meer verpakkende bedrijven op zoek gaan naar grondstoffen voor de productie van verpakkingen met *recycled content*.

5 Discussie

Recente ontwikkelingen in perspectief

In figuur 6 staat schematisch weergegeven op welke wijze de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen is veranderd tussen 2014 en 2016 ten aanzien van de twee belangrijkste prestatie-indicatoren voor circulariteit en op welke wijze de technische beleidsopties daarop invloed kunnen uitoefenen.



Figuur 6: Recente (2014-2016) ontwikkeling van de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen ten opzichte van wat de technische beleidsopties voor de betrokkenen kunnen brengen langs de 2 assen voor de mate van circulariteit .

Uit figuur 6 blijkt dat de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen nog ver verwijderd is van een ideaal circulaire keten. De recyclingketen kent nog veel uitval waardoor er weinig recycleert beschikbaar is ten opzichte van de nieuw-behoefte voor de productie van kunststofverpakkingen. De grootste verliezen in de recyclingketen treden op doordat slechts een gedeelte van de kunststofverpakkingen gescheiden worden ingezameld en niet al het huisvuil

wordt onderworpen aan nascheiding. Daarnaast is er ook uitval bij het sorteren en het recyclen. Bovendien is er van het recyclaat dat nu gemaakt wordt uit de huishoudelijke kunststofverpakkingen slechts een klein deel zuiver genoeg om te kunnen worden toegepast in nieuwe verpakkingen. Zodoende worden er nu grote hoeveelheden minder-zuiver recyclaat geproduceerd die worden toegepast in tal van gebruiksartikelen. De keten kan zodoende het beste worden gekenschetst als een ‘open-loop’-recyclingsysteem met kleine ‘closed-loop’-elementen.

In de afgelopen jaren (2014-2016) heeft de keten zich ontwikkeld in kwantitatieve zin; er is meer ingezameld en er is meer recyclaat geproduceerd. De kwaliteit van die recyclaten is nagenoeg onveranderd gebleven. Tegelijkertijd is een groter wordende groep verpakkende bedrijven op zoek naar zuiver en betaalbaar recyclaat. Daarmee bevindt het hergebruikssysteem zich in de situatie dat er steeds meer materiaal wordt ingezameld, tegen steeds hogere kosten voor het verpakkende bedrijfsleven, en dat tegelijkertijd de productie van voldoende zuiver recyclaat dat geschikt is voor verpakkingstoepassingen nauwelijks toeneemt.

Dit rapport laat zien dat er geen enkele eenvoudige technische maatregel bestaat, die deze situatie kan doorbreken. De ontwikkeling van een meer circulair hergebruikssysteem vereist meer maatregelen die gelijktijdig in onderlinge afstemming door alle belanghebbenden worden genomen. Hiervoor is een gedeeld toekomstbeeld bevorderlijk. Deze situatie doet zich breder voor in alle West-Europese landen met een functionerend hergebruikssysteem voor kunststofverpakkingen [Ragossnig 2017].

Toekomst van het recyclingsysteem bij ongewijzigd beleid

Zoals dit rapport laat zien is de techno-economische werkelijkheid een stuk ingewikkelder dan wat er uit de doelstellingen van belanghebbenden blijkt. Uit gesprekken met ondernemers blijkt dat er een bijna onverzadigbare markt bestaat voor laagwaardige toepassingen van gerecycleerd kunststof en dus dat als er meer maalgoed uit MIX de markt op wordt gezet dat dit zijn weg zal vinden in een enorme lijst van potentiële toepassingen van stoepranden, bouwhout, oeverbeschoeiing, bouwelementen, etc. Ons is gebleken uit gesprekken met vertegenwoordigers van recyclingbedrijven dat zolang het Afvalfonds Verpakkingen (maar steeds meer) betaalt voor het inzamelen, sorteren en mechanisch recyclen en de toepassers het gewassen drijvend maalgoed uit MIX goedkoop kunnen verkrijgen, zullen er diverse toepassingen bijkomen. Doordat er slechts 4 MIX recyclingbedrijven actief zijn en er een overaanbod is van gesorteerde MIX, stijgen de verwerkingstarieven. Dit betekent dus dat als drijfveren zo blijven als ze zijn, dat het systeem zal blijven groeien, zowel in termen van hoeveelheden geproduceerd maalgoed als in systeemkosten. In figuur 6 zal de stip zich verder naar rechts bewegen, maar niet naar boven. Het systeem zal kwantitatief groeien maar de hoeveelheid zuiver recyclaat beschikbaar voor verpakkende bedrijven als grondstof voor nieuwe verpakkingen zal onvoldoende blijven.

Focus op kwaliteit en bijdragen van belanghebbenden

Voor een recyclingketen die meer circulair is, zal er zowel meer verpakkingsmateriaal moeten worden ingezameld en nagescheiden als dat er door alle ketenpartijen bewust beleid zal moeten worden gevoerd om de kwaliteit van het recycleaat (en de tussenproducten) te verbeteren. Deze kwalitatieve verbetering kan alleen slagen door samenwerking tussen alle ketenpartners. Hierbij is het belangrijk dat het verpakkend bedrijfsleven verpakkingen op de markt brengt die beter te recyclen zijn, dat het voor de sorteerbedrijven contractueel, juridisch en financieel mogelijk wordt om zuiverdere producten te maken en dat de recyclingbedrijven blijven doorgaan met innoveren en investeren zodat zij zuiverdere recyclaten produceren. Een meer centrale regie over deze keten is hierbij noodzakelijk. De bijdragen die de ketenpartijen kunnen leveren zijn:

- Het verpakkende bedrijfsleven kan een grote bijdrage leveren door *design-for-recycling* te integreren in hun inkoopbeleid en product-ontwerp-processen,
- De gemeenten en de inzameldiensten kunnen bijdragen aan het verder uitbouwen van de inzamelresponsen en de nascheiding-rendementen, waarbij de insleep van ongewenste materialen zoveel mogelijk wordt tegengegaan met gerichte kwaliteitscontroles.
- De sorteerbedrijven kunnen bijdragen aan het verhogen van de kwaliteit van de sorteerproducten en het gelijktijdig verhogen van het aandeel waarde-fracties ten opzichte van MIX. Aangezien sorteren een competitieve bedrijfsactiviteit is waar contractuele eisen, wettelijke eisen en bovenwettelijke eisen (UMP, specificaties) een grote invloed op hebben, is het vooral voor de sorteerbedrijven belangrijk dat er samenhang is tussen al deze eisen die aan hen worden gesteld en dat deze eisen de productie van meer zuivere producten bevorderen.
- De recyclingbedrijven kunnen bijdragen door te innoveren en nieuwe recyclingprocessen te ontwikkelen die meer en zuiverdere gerecycleerde kunststoffen opleveren.

Realistische doelstellingen voor circulariteit kunststofketen

Er bestaat nu geen volledig circulaire economie voor huishoudelijke kunststofverpakkingen ergens op de wereld. Nederland heeft zich ontwikkeld tot een van de meest circulaire economieën voor kunststofverpakkingen wereldwijd. Onbekend is waar de praktische, technische en financiële grenzen van de circulaire economie voor huishoudelijke kunststofverpakkingen precies liggen. Er zullen altijd verliezen optreden in een hergebruikssysteem, zowel ten aanzien van kwantiteit als ten aanzien van kwaliteit.

Een reëel haalbare kwantitatieve limiet voor de circulariteit, is een afgeleide van het percentage goed recycleerbare verpakkingen. Immers deze limiet zal altijd lager zijn dan dit percentage, omdat er altijd verliezen zullen optreden tijdens sorteren en recyclen. In Nederland is het percentage goed recycleerbare verpakkingen 56% [Brouwer et al. 2017] en dit percentage zal in de nabije toekomst kunnen groeien doordat er recycling-mogelijkheden voor PET-schalen worden verwacht tot zo'n 66%. Om de reëel haalbare kwantitatieve limiet verder te verhogen zijn *design-for-recycling* maatregelen door het verpakkende bedrijfsleven noodzakelijk.

Een reëel haalbare limiet voor de zuiverheid van de recyclaten is gelijk aan de noodzakelijke zuiverheid voor circulaire toepassingen. Omdat voor een aantal recycling-processen deze zuiverheid al gehaald is, is dit ook de reëel haalbare limiet. Deze limiet zal voor de potentieel-circulair toepasbare waarde-kunststoffen (PET, PE, PP, Film) liggen tussen de 97 en de 99,9%. Voor circulaire toepassingen van PE, PP en Film zijn polymere zuiverheden van 97 à 98% minimaal noodzakelijk. Voor circulaire toepassingen van PET zijn polymere zuiverheden van 99,9% noodzakelijk [Thoden van Velzen et al. 2016].

Het streven naar een meer circulair hergebruikssysteem heeft als gevolg dat er minder plaats is voor het sorteerproduct MIX en de daarvan afgeleide recyclingproducten. Dit zal weer grote gevolgen hebben op de sorteerwijze, sorteercontracten, hoeveelheden recyclingproducten en kwaliteit van de recyclingproducten. Het sorteerproduct MIX ontstaat omdat er niet-recyclebare verpakkingen zijn die alleen samen met goed recyclebare verpakkingen kunnen worden verwerkt tot een meng-recyclaat dat niet circulair toepasbaar is. Zodoende vertaalt het streven naar circulariteit zich van een beperking van de MIX naar het verbeteren van de recyclebaarheid van verpakkingen. Deze niet-recyclebare verpakkingen zijn echter vaak doelbewust ontwikkeld met als doel het materiaalgebruik en duurzaamheid te optimaliseren. Doordat een groeiende groep belanghebbenden en maatschappelijke groeperingen eisen dat verpakkingen ook recyclebaar zijn, worden verpakkende bedrijven gedwongen om de verpakkingsontwerpen te heroverwegen en na te gaan of ze dusdanig kunnen worden aangepast zodat ze wel recyclebaar zijn. Ook de recent geopenbaarde Plastic strategie van de Europese commissie roept de verpakkende bedrijven hiertoe op [EU COM 2018]. Dit is echter niet in alle gevallen eenvoudig te verwezenlijken. In deze gevallen zullen de verpakkende bedrijven ingewikkelde afwegingen moeten maken tussen de verschillende eisen die aan verpakkingen worden gesteld. Hierbij is het belangrijk de drijfveren en de doelstellingen van de belanghebbenden te kennen en de eisen en incentives hierop af te stemmen.

Drijfveren belanghebbenden

Belanghebbenden hebben verschillende doelstellingen met het recyclingsysteem voor huishoudelijke kunststofverpakkingen. Hieronder volgen een paar doelstellingen die we hebben vernomen bij verschillende belanghebbenden:

- methode om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen,
- methode om lekkage van kunststof in het milieu te beperken,
- potentiële bron van goedkope grondstof en / of inkomsten,
- voorzichtige eerste stap richting een circulaire economie,
- methode om invulling te geven aan het principe 'de vervuiler betaalt' waarbij de verpakkende industrie hier als vervuiler wordt beschouwd en zelfs
- noodzakelijk kwaad.

Deze achterliggende motieven vertalen zich weer in verschillende ideeën over welke materialen het recyclingsysteem voor huishoudelijke kunststofverpakkingen zou moeten opleveren. Er zijn

praktisch ingestelde belanghebbenden die vinden dat alle kunststof die gerecycleerd wordt een milieukundig voordeel vertegenwoordigt en dus een stap in de goede richting is. Meer ideologisch gedreven belanghebbenden zijn van mening dat verpakkingen strikt circulair moeten worden gerecycleerd in weer nieuwe verpakkingen. Tenslotte zijn er meer bedrijfsmatig denkende belanghebbenden die vinden dat het kunststofrecyclingsysteem vraag-gestuurd moet worden. Hiermee bedoelt men dat er alleen sorteerproducten zouden moeten worden gemaakt die een positieve marktwaarde vertegenwoordigen. In Bijlage E is een tabel opgenomen met een overzicht van de meest belangrijke belangen, doelstellingen en zorgpunten van de belanghebbenden.

Naar een gedeeld toekomstbeeld

Dit rapport laat zien dat er veel technische mogelijkheden bestaan om de recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen in kleine stapjes te verbeteren. De meeste innovaties zullen echter niet spontaan worden ingevoerd omdat dit voor de bewuste partij zelf niet voordelig is. Voor succesvolle technische innovatie zijn de juiste *incentives* nodig en samenwerking tussen de ketenschakels. Die samenwerking is echter niet vanzelfsprekend omdat de drie Raamovereenkomstpartijen andere belangen hebben. Een gemeenschappelijke doelstelling / gedeeld toekomstbeeld kan helpen technische innovaties tot wasdom te laten komen [Kemp, et al. 1998].

Een gemeenschappelijke herijking van de doelstellingen van het hergebruikssysteem voor huishoudelijke kunststofverpakkingen is dus nodig om een situatie te creëren waarin technische innovaties kunnen floreren. Bovendien zou het hergebruikssysteem voor huishoudelijke kunststofverpakkingen zelfs zonder technische innovaties nu ook al beter kunnen functioneren als de juiste *incentives* aan de betrokken zouden worden gegeven.

Vervolg van dit onderzoek

In het komende half jaar zal het rekenmodel worden uitgebreid met meer actuelere technische informatie omtrent het sorteren van PMD materiaal, hierna kan het effect van PMD-inzamelen en sorteren preciezer worden doorrekend in het model. Dit wordt dan het nieuwe basis-scenario van waaruit we de verbeteringen kunnen doorrekenen. Ook zal het effect van gecombineerde maatregelen die één groter algemeen doel beogen worden doorgerekend met dit bijgewerkte rekenmodel voor de hergebruiksketen, zodat we de effecten van beleid en op elkaar afgestemde aanpassingen beter kunnen voorspellen.

6 Conclusies

Tweeëntwintig verschillende industriële beleidsopties zijn beoordeeld op hun effecten op de recyclingketen van de huishoudelijke kunststofverpakkingen. Als basis diende een technisch model van deze hergebruiksketen van 2014, waarin de relatie wordt gelegd tussen het ontwerp van de verpakkingen, de inzamelwijze, de sorteervijze, de recyclingwijze en de hoeveelheden geproduceerd gewassen maalgoed, alsmede de polymere samenstelling daarvan.

Voor alle beleidsopties werd nagegaan hoe de technische parameters van het model zouden veranderen, waarna de modelberekeningen nogmaals werden uitgevoerd. Vervolgens werden de verschillen in hoeveelheden recycalaat en de polymere samenstelling tussen het basismodel en die van de beleidsoptie geanalyseerd. Duidelijk is een aantal beleidsopties weinig effect hebben op de keten en dat een aantal juist een relatief groot effect hebben op de keten. Met geen enkele technische maatregel kan de hergebruiksketen volledig circulair worden gemaakt.

De belangrijkste beleidsopties, met dus het grootste positieve effect op de ketenprestaties, zijn per soort belanghebbenden:

1. Verpakkende industrie. Het industrie-breed invoeren van *design-for-recycling* maatregelen leidt vooral tot een zuiverder recycalaat en ook iets meer recycalaat.
2. Gemeenten & Inzameldiensten. Het verdergaand invoeren van gecombineerde co-inzamelsystemen als PD en PMD en het gelijktijdig vergroten van de nascheiding-capaciteit leidt tot fors meer recycalaat. Hierbij moet dan wel de insleep van ongewenste materialen zoveel mogelijk worden beperkt.
3. Sorteerbedrijven. Een aangepaste sorteervijze waarbij gestuurd wordt op maximale hoeveelheden van hoogwaardige sorteerproducten leidt tot meer recycalaat van een hogere zuiverheid.
4. Recyclingbedrijven. De verdere ontwikkeling van de meer circulaire toepassingen van gerecycleerd PE voor non-food flacons en folieverpakkingen zal nog dit jaar leiden tot een toename in circulair toepasbaar recycalaat. Voor meer circulair hergebruik zullen er nieuwe recyclingprocessen en mogelijk chemische recyclingprocessen moeten worden ontwikkeld voor de 2 sorteerproducten met veel meerlaagse verpakkingsmaterialen (PET-schalen en MIX).

Deze technische verbeteropties zullen alleen kunnen floreren als de incentives voor de betrokken bedrijven in de recyclingketen hierop worden afgestemd. Een terugblik op het recente verleden leert immers dat de verkeerde incentives leiden tot meer onzuiver recycalaat. Om de recyclingketen van huishoudelijke kunststofverpakkingen in de komende jaren meer circulair te maken zal de focus eerst moeten liggen op het verbeteren van de kwaliteit van de recyclingproducten en in tweede instantie op het vergroten van de totale hoeveelheid recyclingproduct.

Dankbetuiging

Wij danken voor de enthousiaste bijdragen die door alle belanghebbenden aan dit rapport zijn geleverd tijdens de besprekingen van de resultaten.

TiFN en KIDV worden bedankt voor de opdracht en getoonde het vertrouwen. Peter Blok en Prof. dr. van Trijp worden bedankt voor het verbetersuggesties.

Literatuur

Afvalfonds Verpakkingen 2016, “Monitoring verpakkingen, resultaten inzameling en recycling 2015” Afvalfonds juli 2016 Leidschendam, https://afvalfondsverpakkingen.nl/a/i/AFV_monitoring_2015_web3.pdf

Aguado J, Serrano DP, Escola JM, 2008, “Fuels from waste plastics by thermal and catalytic processes; a review” *Ind. Eng. Chem. Res.* 27, 7982-7992.

Al-Salem SM, Antelava A, Constantinou A, Manos G, Dutta A 2017, “A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste” *J Environ. Management*, 197, 177-198.

AVR persbericht 30 oktober 2017, “AVR haalt met nieuwe scheidingsinstallatie grondstoffen uit restafval” <http://www.avr.nl/nl/nieuwe-scheidingsinstallatie-haalt-grondstoffen-uit-restafval->

Bergsma GC, Bijleveld MM, Krutwagen BTJM, Otten MBJ, “LCA: recycling van kunststofverpakkingen uit huishoudens” CE Delft 11.2430.79 November 2011.

Brandrup J, Chapter 5.1 “Preparation of feedstocks for petrochemical recycling – requirements imposed on plastics waste” in Book “Recovery and recycling of plastics” Hanser 1996.

Brems A, Baeyens J, Dewil R, 2012 “Recycling and recovery of post-consumer plastic solid waste in a European context” *Thermal Science* 16(3), 669-685. DOI: 10.2298/TSCI120111121B

Brouwer MT, Thoden van Velzen EU, “Recycleerbaarheid van verpakkingen op de Nederlandse markt” WFBR rapport 1782, Wageningen 1 december 2017.

Brouwer MT, Thoden van Velzen EU, Augustinus A, Soethoudt H, DeMeester S, Ragaert K. 2018 “Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system and implications for the circular economy” *Waste management* 71, 62-85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034> .

Bezati, F., D. Froelich, V. Massardier, and E. Maris. 2011. Addition of X-ray fluorescent tracers into polymers, new technology for automatic sorting of plastics: Proposal for selecting some relevant tracers. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (12): 1214-1221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.014>

CBS Statline website <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83452NED/table?ts=1512660789159>

EFSA Scientific Opinion on the criteria to be used for safety evaluation of a mechanical recycling process to produce recycled PET intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food. *EFSA Journal* 2011; 9(7), 2184 (25 pages). Available online: <http://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/2184.pdf> [accessed 05.10.12].

Ellen MacArthur Foundation. 2016. The new plastics economy. Rethinking the future of plastics.

<http://www.newplasticseconomy.org>

EC COM 2018, communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, A European Strategy for Plastics in a circular economy, January 16th 2018.

Fuenix, Website van bedrijf Fuenix: <http://www.fuenix.com/onze-organisatie/>

Geels, F.W. 2002, Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research Policy 31, 1257-1274

Grüne Punkt website on design for recycling: <https://www.gruener-punkt.de/en/services/design4recycling.html>

Persbericht over HVC's nascheidingsinstallatie <https://www.hvcgroep.nl/nieuws/plastic-blik-en-pak-nascheiden-ten-opzichte-van-bronscheiden>

Kemp, R., Schot, J., Hoogma, R. (1998), Regime shifts to sustainability through processes of niche formation.

KIDV, “Rapportage kunststofketenproject, Interventies om de kunststofketen verder te sluiten, qua grondstoffen en economisch” Augustus 2017, Den Haag, <https://www.kidv.nl/6072/onderzoek-kunststofketen.html>

KIDV, “Beëindiging gebruik PVC als verpakkingsmateriaal in supermarkten tenzij niet anders mogelijk” Oktober 2014, Den Haag, <https://www.kidv.nl/4004/bevindingen-kidv-pvc-oktober.pdf?ch=DEF>

Kosior E, Conference presentation “Food contact materials: new innovative solutions, show casing what is possible” 2017 March 28th Force Technologies, Brøndby (DK).

Leenaars Y, E. Boer, “Samenstelling ingezameld kunststof/PMD verpakkingen –het effect van inzamelsystemen” Eureco en WUR rapportage, 26 juni 2017, Learning Centre Kunststofverpakkingsafval, Utrecht.

Luciani V, Bonifazi G, Rem P, Serranti S 2015, “Upgrading of PVC rich wastes by magnetic density separation and hyperspectral imaging quality control” Waste Management, 45 (2015) 118-125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.015>

S. Mellema, “ Processing beverage cartons into Renewable Chemicals and Recovered Aluminium by low temperature Thermolysis based on the FUENIX ECOGY® Technology” Conference presentation at EAP Rotterdam 2017 September 22nd.

NVRD „Benchmark Huishoudelijk afval analyse peiljaar 2015” NVRD 14 nov 2016, Arnhem.

Persbericht 4PET, 13 november 2017:

<http://www.4petrecycling.nl/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/persbericht-trays.pdf>

Picuno C. 2017, Master thesis TUHH „Implementation of a mathematical model as a decision support tool for the optimization of Dutch post-consumer plastic packaging value chain, October 9th 2017.

Polymark website, <http://www.polymark.org/>

PCE: Polymer Comply Europe, “The usage of recycled plastic materials by plastic converters in Europe”, PCE report, October 2017, Brussels.

Prism initiative, see for instance website: <http://www.recyclingpoint.info/plastics-the-fluorescent-label-a-recycling-revolution/?lang=en>

PWC, “kostenstudie naar de keten van brongescheiden kunststofverpakkingsafval uit huishoudens” 18 december 2013, 2013-1664 PT/LK/IH, <http://www.vang-hha.nl/kennisbibliotheek/@148887/kostenstudie/>

Ragossnig AM 2017 “What is the real scope of waste management?” Waste Management & Research 35(11) 1097-1098, editorial contribution, <https://doi.org/10.1177/0734242X17738667>

Rozenstein O, Puckrin E, Adamowski J, 2017 „Development of a new approach based on midwave infrared spectroscopy for post-consumer black plastic waste sorting in the recycling industry” Waste Management 68 (2017) 38–44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.023> .

Serranti S, Luciano V, Bonifazi G, Rem PC 2015, “An innovative recycling process to obtain pure polyethylene and polypropylene from household waste” Waste Management, 35 (2015) 12-20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.017>.

Thoden van Velzen EU en Brouwer MT, “Samenstelling van gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen” Wageningen FBR rapport 1487, Juni 2014, Wageningen.

Thoden van Velzen EU, “Technisch haalbare sorteerrendementen” Wageningen FBR rapport 1495, Juli 2014, Wageningen.

Thoden van Velzen EU, Brouwer MT, Molenveld K, “Technical quality of rPET” Wageningen FBR report 1661, July 2016, Wageningen

Thoden van Velzen EU “Recyclingopties voor PET schalen” Wageningen FBR report 1761, July 2017, Wageningen, <https://doi.org/10.18174/419818>

Thoden van Velzen EU, Huremovic D, Keijzers ERP, Op den Kamp R, Brouwer MT “Recycling of beverage cartons in the Netherlands in 2016” Wageningen FBR report 1781, 2018, Wageningen.

't Veld S, “Kunststofmarkt op de kaart gezet” Vakblad afval!, Februari 2015 (1) 18-21.

VANG beleid, “Uitvoeringsprogramma VANG, huishoudelijk afval” 18 nov 2014, Ministerie IenM, VNG en NVRD

Vereniging Afvalbedrijven, “factsheet acceptatieprocedure PMD op overslag- of sorteerinstallatie” Januari 2017, https://www.verenigingafvalbedrijven.nl/fileadmin/user_upload/Documenten/PDF2017/VA_Factsheet_Acceptatieprocedure_PMD.pdf

Website Attero: <https://www.attero.nl/upload/docs/prp-infinite-film-regranulaat-nl.pdf>

Website CEDO: www.cedo.com

Website Vraagenaanbod bevat actuele prijzen van nieuw en gerecycleerde kunststoffen, zie http://www.vraagenaanbod.nl/marktprijzen/id15626-Kunststofprijzen_week.html

Welle, F “Wie sicher sind recycelte PET Flaschen?” Brauwelt 2015, 37-38, 1096-1098.

Bijlagen

Bijlage A: Gebruikte afkortingen	97
Bijlage B: Gehanteerde begrippen	98
Bijlage C: Technisch effect van de beleidsopties op de mate van circulariteit van de hergebruiksketen; netto-materiaal-rendement van de recyclingketen en polymeerzuiverheden.	100
Bijlage D: Recente ontwikkelingen 2015-2017.....	101
Bijlage E: Belangen, doelstellingen en zorgpunten belanghebbenden.....	104

Bijlage A: Gebruikte afkortingen

AOM	Aandeel ongewenste materialen
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
DKR	Deutsches Gesellschaft für Kunststoffrecycling GmbH
DSD	Duales System Deutschland
EPS	Geëxpandeerd polystyreen, “piepschuim”
Film	Sorteerproduct van folieverpakkingen
GI	Gescheiden inzameling
HHRA	Huishoudelijk restafval
KIDV	Kennisinstituut duurzaam verpakken, Den Haag (NL)
MDS	Magnetische dichtheidsscheiding
MIX	Sorteerproduct mengkunststoffen
NA	Nascheiden
NIR	Nabij-infrarode straling
PE	Polyethyleen
PET	Polyethyleentereftalaat
PD	Gecombineerd gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen en drankenkartons
PMD	Gecombineerd gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen, metaal verpakkingen en drankenkartons
PO	Mengpolyolefine (mengsel van PE en PP)
PP	Polypropyleen
PS	Polystyreen
PVC	Polyvinylchloride
TiFN	Top Institute Food & Nutrition, Wageningen (NL)
UV	Ultraviolette straling
VANG	Van Afval Naar Grondstof beleid van de Nederlandse overheid
WFBR	Wageningen Food & Biobased Research
XRF	Röntgenstraling fluorescentie-spectroscopie

Bijlage B: Gehanteerde begrippen

Beleidsopties

Technische maatregelen en industriële beleidsbeslissingen die betrokkenen in de recyclingketen zelf kunnen nemen. Hieronder vallen dus verpakkingsontwerp-beslissingen van de verpakkende industrie, beslissingen over de inzamelwijze en –portfolio door gemeenten en inzameldiensten, beslissingen over de configuratie van een sorteerbijndrijf en de fijn-afstelling van de sorteermachines door sorteerbijndrijven en proceskeuzes door de recyclingindustrie.

Design-for-recycling

Het (her)ontwerpen van verpakkingen door de verpakkende industrie met als doel dat ze goed of beter het recyclingsysteem doorlopen en dus gerecycled kunnen worden.

Hergebruiksketen

Dit is de keten van actoren die samen de recycling van kunststofverpakkingen uitvoeren. In dit rapport worden hiermee bedoeld: inzameldiensten, nascheiders, sorteerbijndrijven en mechanische recyclingbedrijven.

Ketenpartijen

De ketenpartijen zijn alle direct betrokkenen bij de hergebruiksketen, die of essentiële ketenstappen zelf uitvoeren (inzamelen, nascheiden, sorteren en mechanisch recycelen) of hier directe invloed op uitoefenen, zoals de verpakkende industrie, gemeenten, etc.

Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen

Het nettogewicht aan recyclingproducten dat geproduceerd wordt door de hergebruiksketen gedeeld door het nettogewicht aan kunststofverpakkingen dat door Nederlandse consumenten worden gekocht als onderdeel van product-verpakkingscombinaties. Dit is dus een netto-materiaalrendement dat betrekking heeft op schoon kunststof en dus geen massarendement dat betrekking heeft op alle materialen.

Recyclingproducten

In dit rapport wordt de hergebruiksketen modelmatig bestudeerd en zijn de producten van hergebruiksketen de gewassen maalgoderen die de mechanische recyclingbedrijven produceren. Hierbij wordt twee producten onderscheiden: de hoofd- en de bijproducten. De hoofdproducten zijn beoogde producten, dus het zinkende maalgod gemaakt uit PET DKR 328-1 en de drijvende maalgoderen uit PE DKR 329, PP DKR 324, Film DKR 310 en MIX DKR 350. De bijproducten zijn het drijvend maalgod gemaakt uit PET DKR 328-1 en de zinkende maalgoderen uit PE DKR 329, PP DKR 324, Film DKR 310 en MIX DKR 350.

Sorteerverdeling

De procentuele massaverdeling van sorteerproducten die gemaakt zijn uit gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen, PD, PMD en / of nascheiding-concentraat (harde kunststofproduct uit nascheiding).

Sorting fate

Dit is een Engelstalig begrip dat zich alleen laat omschrijven in het Nederlands. Hiermee wordt bedoeld de verdeling over de sorteerproducten van een verpakkingstype. Dus als een zwarte verpakkingstof voornamelijk in de sorteerrest terecht komt is zijn *sorting fate* dus voornamelijk de sorteerrest. Dit wordt beschreven als een verdelingspercentage van een bepaald verpakkingstype over de sorteerproducten, zodat de som van deze percentages over alle sorteerproducten 100% bedraagt.

Verpakkend bedrijfsleven

Met verpakkend bedrijfsleven wordt in dit rapport bedoeld alle bedrijven die verpakte consumentengoederen op de Nederlandse markt brengen en betrokken zijn bij het verpakkingsontwerp-proces. Dit zijn dus zowel producenten, importeurs als loon-verpakkers die in opdracht van een retail-keten werken. A-merk producenten maken vaak zelf verpakkingsontwerp beslissingen. Terwijl er bij private-label producten vaak een gedeelde inbreng is van retailketen, loonverpakker, machinebouwer en verpakkingmiddelen-leveranciers.

Waarde-fracties

De sorteerproducten die een duidelijk positieve waarde vertegenwoordigen. Voor de sortering van huishoudelijke kunststofverpakkingen wordt hier op PET (DKR 328-1), PE (DKR 329) en PP (DKR 324) gedoeld.

Bijlage C: Technisch effect van de beleidsopties op de mate van circulariteit van de hergebruiksketen; netto-materiaal-rendement van de recyclingketen en polymeerzuiverheden.

		Netto-materiaal-rendement van de recyclingketen, [%]	Polymeerzuiverheid alle hoofdproducten [%]	Polymeerzuiverheid waarde-fracties [%]
Basis	Basismodel	20 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
1.1	PVC uitbannen	21 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
1.2	PS uitbannen	21 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
1.3	Andere zwarte kleurstof	22 ± 2	94 ± 5	95 ± 4
1.4A	Design: minder vreemd-kunststoffen	21 ± 2	91 ± 6	95 ± 4
1.4B	Design: mono-kunststoffen	21 ± 2	93 ± 6	97 ± 2
1.4C1	Design: mono-kunststoffen / 10% efficiënter sorteren	21 ± 2	93 ± 7	97 ± 2
1.4C2	Design: mono-kunststoffen / 20% efficiënter sorteren	22 ± 2	93 ± 7	98 ± 1
1.4C3	Design: mono-kunststoffen / 20% efficiënter sorteren en efficiënter recyclen	22 ± 2	93 ± 7	98 ± 1
1.5	Markeertechnologie	23 ± 19	91 ± 6	94 ± 4
2.1A	PMD (2015)	23 ± 1	91 ± 6	94 ± 4
2.1B	PMD (2016)	26 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
2.2	Extra nascheidingscapaciteit (huidige bouw)	23 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
2.3	Extra nascheidingscapaciteit (100%)	37 ± 3	91 ± 6	94 ± 4
2.4	Bewust inzetten nascheidingscapaciteit	24 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
3.1	Kitkokers uitsorteren	20 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
3.2	Zwarte verpakkingen naar Mix sorteren	21 ± 2	90 ± 7	94 ± 4
3.3	Maximaal effectief sorteerbeleid	21 ± 2	88 ± 14	96 ± 3
4.1	PE bottle to bottle recycling	20 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
4.2	PE film to film recycling	19 ± 2	93 ± 5	
4.3	Sorteren en chemisch recyclen PET schalen	23 ± 2	91 ± 6	94 ± 4
4.4	Mix chemisch recyclen	~20	94 ± 4	94 ± 4

Bijlage D: Recente ontwikkelingen 2015-2017

In de afgelopen twee jaar (2015-2017) hebben er forse organisatorische en uitvoerende veranderingen plaatsgevonden in de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen. Sinds 1 januari 2015 is de ketenregie overgegaan van één centrale uitvoeringsorganisatie naar de Nederlandse gemeenten. De gemeenten zijn sinds die datum verantwoordelijk voor het inzamelen, sorteren en verhandelen van de huishoudelijke kunststofverpakkingen. De gemeenten hebben in groepen contracten gesloten met 4 tot 6 sorteerbebedrijven. In deze contracten stonden lage sorteerkosten en hoge sorteerrendementen centraal [NVRD mei 2014, Thoden van Velzen 2014, 't Veld 2015].

Daarnaast lanceerde de rijksoverheid, samen met de VNG en NVRD het VANG-programma vanaf 2014 [Uitvoeringsprogramma VANG 2014]. Hierin werd de ambitie uitgesproken om de hoeveelheid restafval in Nederland scherp te laten dalen naar 100 kg.inwoner⁻¹.jaar⁻¹ en in 2020 een percentage hergebruik van 75% te verwezenlijken (dit is gedefinieerd als de bruto som van de gescheiden ingezamelde stromen van huishoudens gedeeld door de bruto som van alle ingezamelde stromen huishoudelijk afval). De meeste Nederlandse gemeenten zijn hier enthousiast mee van start gegaan.

Ongeveer driekwart van de Nederlandse gemeenten heeft de gescheiden inzameling van kunststofverpakkingen verruimd naar PMD-inzameling. Daarnaast is er restafval-vermijndend beleid gevoerd als het verder invoeren van gedifferentieerde tariefstelling voor restafval (diftar), het omgekeerd inzamelen van restafval en het verlagen van de inzamelfrequentie voor restafval.

De effecten op de ingezamelde hoeveelheden kunststof, PD en PMD zijn spectaculair. De bruto gescheiden ingezamelde hoeveelheden P+PD+PMD bereken volgens het CBS 224 kton in 2016, terwijl dit in 2015 nog maar 173 kton bedroeg en in 2014 nog maar 129 kton bedroeg [CBS Statline website]. Tegelijkertijd registreren enkele gemeenten (Horst aan de Maas, Oost-Gelre, etc.) zeer lage hoeveelheden restafval van 20-40 kg.inwoner⁻¹.jaar⁻¹ [CBS-Statline website]. Kwantitatief is dit VANG-beleid dus een succes; er worden meer gescheiden ingezamelde materiaalstromen ingezameld en steeds geringere hoeveelheden restafval.

Helaas is het effect van dit beleid op de kwaliteit van de gescheiden ingezamelde materiaalstromen niet uitgebreid en systematisch onderzocht. Wel zijn er verschillende aanwijzingen dat de kwaliteit van ingezamelde materialen en sorteerproducten is teruggelopen in de afgelopen jaren:

- Sorteerbebedrijven geven aan dat de kwaliteit van het ingezamelde materiaal is gedaald, zodat zij gedwongen werden om visuele kwaliteitsinspectie bij ontvangst opnieuw te introduceren. Samen met Vereniging Afvalbebedrijven is er een PMD-acceptatieprotocol geschreven [Vereniging Afvalbebedrijven 2017] waarin staat dat sorteerbebedrijven ingezameld materiaal mogen weigeren in het geval er meer dan 10% stoorstoffen (ongewenste materialen) in zitten. Aangezien grijze vuilniszakken de visuele inspectie

hinderen (en dus niet snel kan worden vastgesteld of ze restafval bevatten) worden die als stoorstof geteld.

- Een sorteerbeidrijf geeft aan dat alle ingaande vrachten ingezameld materiaal sinds enkele maanden noodgedwongen moeten worden behandeld met insecticide omdat anders de hygiëne-situatie in de sorteerinstallaties onbeheersbaar werd. Twee andere sorteerbeidrijven geven aan dat zij alleen kwetsbare sorteerproducten als MIX, drankenkartons en sorteerrest behandelen met insecticide als de buitentemperatuur de 20°C nadert.
- Meerdere recyclingbeidrijven hebben aangegeven dat ze ontevreden zijn met de kwaliteit van de sorteerproducten. Na handmatige inspecties werd er teveel restafval en / of ongewenste materialen in de grondstof aangetroffen. Bovendien hadden meerdere recyclingbeidrijven problemen met ongedierte en moest er aanvullend worden verdelgd. Bij een groot recyclingbeidrijf is het retourpercentage gestegen van nauwelijks naar ongeveer 10% in anderhalf jaar tijd.
- Volgens recyclingbeidrijven is de prijs die zij bieden op sorteerproducten van waardevolle mono-stromen gedaald, om de hogere verwerkingskosten te compenseren. De prijsdalingen zijn voor de waarde-kunststoffen (PET, PE, PP, Film) vrij fors geweest. PET is gedaald van ongeveer 200 naar 100 €/ton, PE en PP zouden zijn gedaald van ongeveer 300 naar ongeveer 150 €/ton en Film zou nu geen opbrengst meer vertegenwoordigen (van rond de 10-20€/ton naar ongeveer 0 €/ton). Het verwerkingstarief van MIX is in de afgelopen jaren gestegen van +50 €/ton in 2009 naar +80€/ton in 2012 en recent worden er verwerkingstarieven genoemd tussen de +80 en +150 €/ton.
- Volgens Nedvang, die de kwaliteit van de sorteerproducten systematisch monitort, is de mate waarin sorteerbeidrijven producten leveren die voldoen aan de specificaties gedaald in de afgelopen 2 jaar.⁸

Over de samenstelling van Nederlands gescheiden ingezameld PMD materiaal is nog relatief weinig bekend. Er is een LCKVA rapportage verschenen met samenstellingen op grof materiaalniveau [Leenaars 2017], maar deze informatie laat zich lastig vergelijken met samenstellings-informatie van gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen van 2014 [Thoden van Velzen en Brouwer 2014]. Daarnaast is de samenstelling van het gescheiden ingezamelde PMD-materiaal ook onderzocht in het “Evaluatie drankenkarton project 2016”. De resultaten hiervan worden begin 2018 gerapporteerd [Thoden van Velzen et al 2018]. Uit deze resultaten blijkt inderdaad dat het gehalte restafval in PMD materiaal in 2017 gemiddeld iets hoger is dan het gehalte restafval in gescheiden ingezameld kunststof van voor 2015, alhoewel de spreiding in deze waarden aanzienlijk is (zie paragraaf PMD 3.2.1). De beperkte stijging in het gehalte

⁸ Er zal een statistische analyse gaan verschijnen over het aantal grepen dat nodig is om een voldoende representatieve steekproef te nemen. Hierin is de data geanonimiseerde terug te vinden; gemiddelden en spreidingswaarden.

restafval alleen, leidt met ons rekenmodel tot hogere gehalten restafval in de sorteerproducten (zie ook paragraaf 3.2.1).

Daarnaast zijn er aanwijzingen dat het sorteerbeleid van de sorteerbedrijven is veranderd. Vertegenwoordigers van de sorteerbedrijven tekenen hierbij aan dat de sorteerbedrijven werden overvallen door de enorme groei in de hoeveelheid ingezameld verpakkingsmateriaal (mono-P, PD en PMD) van 129 kton in 2014 naar 173 kton in 2015 en 224 kton in 2016. Ze hebben gereageerd door meer Duitse sorteerbedrijven als onderaannemers te contracteren. Daarnaast hadden ze te maken met de contracteisen. De grootste sorteerbedrijven hadden contracten gesloten met gemeenten op basis van een sorteerrendement van 90%, alhoewel uit ons model volgt dat maximaal 75% haalbaar is. Dit is een gevolg van de vergoedingssystematiek waarin wordt afgerekend op hoeveelheden en nauwelijks op kwaliteit. Dit werd in de praktijk opgelost door “de grenzen van de specificaties dichter op te zoeken” (citaat van een vertegenwoordiger van een sorteerbedrijf die anoniem wenst te blijven). Oftewel door de bandcapaciteit te verhogen en de instellingen van sorteermachines aan te passen zodat materialen die eigenlijk in de sorteerrest terecht zouden moeten komen, nu in ruimere mate in de sorteerproducten terechtkomen.

Deze sorteerbedrijven geven aan dat dit sorteerbeleid het gevolg is van de contractuele eisen om zoveel mogelijk materiaal te sorteren, voor een beperkte vergoeding met een zo hoog mogelijk sorteerrendement. Één Nederlands sorteerbedrijf distantieert zich hiervan. Zij zijn geen contracten met gemeenten aangegaan met dergelijke hoge sorteerrendementen van 90%. Zij hebben geen problemen met recyclingbedrijven ten aanzien van het niet voldoen aan de specificaties, maar ze ervaren wel een niet eerlijke concurrentie in het verwerven van contracten met gemeenten. In het geval deze situatie nog maanden voortduurt, zullen zij –gedwongen door de marktomstandigheden- ook hun sorteerbeleid gaan aanpassen.

Opgemerkt moet worden dat een veranderd sorteerbeleid, niet alleen leidt tot sorteerproducten met meer ongewenste materialen maar tegelijkertijd ook tot de vorming van relatief meer MIX ten opzichte van waarde-producten (PET, PE, PP, Film, drankenkartons en metalen). Deze relatieve verschuiving heeft volgens Nedvang inderdaad plaatsgevonden in de afgelopen jaren en vormt hiermee een aanvullende bevestiging voor veranderingen die hebben plaatsgevonden. Tenslotte geven vertegenwoordigers van sorteerbedrijven aan dat het verhogen van de bandcapaciteit deels ook nodig was omdat de hoeveelheden van het ingezameld materiaal zo sterk stegen en het politieke klimaat tussen de drie Raamovereenkomstpartijen onvoldoende stabiel was zodat investeringen in nieuwe sorteerinstallaties in Nederland onverantwoord zouden zijn.

Bijlage E: Belangen, doelstellingen en zorgpunten belanghebbenden

Ketenpartijen / betrokkenen	Doelstellingen	Zorgpunten
Verpakkend bedrijfsleven	Efficiënt hergebruikssysteem Eenvoudig systeem Behoud verpakkingsvrijheid Beschikbaarheid van recyclelaar voor eigen verpakkingen	Hoge kosten Concurrentievervalsing <i>Free-riders</i> Insleep van niet-verpakkingen en restafval
Gemeenten	Eenvoudig systeem dat makkelijk aan burgers uitgelegd kan worden	Mag niet leiden tot kostenverhoging voor gemeenten of burgers
Inzamelaars en inzameldiensten	Efficiënt systeem Bedrijfsmatige winstdoelstelling	Wegnemen barrières Eerlijke concurrentie tussen private en gemeentelijke diensten
Sorteerbedrijven	Bedrijfsmatige winstdoelstelling Effectieve werkwijze binnen de contractuele kaders die leidt tot een optimum tussen inzet installatie, productie waarde-producten en afvalstromen	Kwaliteitscontrole ingaand materiaal, insleep restafval Bestuurlijke rust zodat investeringen kunnen worden gedaan en worden terugverdiend
Recyclingbedrijven	Voldoen aan de vraag naar hoogwaardige recyclelaar die in verpakkingen kunnen worden gebruikt. Bedrijfsmatige winstdoelstelling	Kwaliteitscontrole ingaand materiaal, insleep restafval Bestuurlijke rust zodat investeringen kunnen worden gedaan en worden terugverdiend
Rijksoverheid	VANG-beleid; restafval reductie Transitie naar een circulaire economie	Concurrentiepositie Nederlandse industrie Grondstofpolitiek
Afvalverwerkende industrie	Faciliteren transitie circulaire economie Efficiënte totaaloplossingen	Bestuurlijke rust zodat investeringen kunnen worden gedaan en worden terugverdiend Het verplichte recyclen van Mix