

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Food & Biobased Research
Bornerse Weiland 9
6708 WG Wageningen
www.wur.nl/wfbr
info.wfbr@wur.nl

Rapport 1923

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



Verkenning effect verschuiven meetpunt recycling kunststofverpakkingen

M.T. Brouwer, I.W. Smeding en E.U. Thoden van Velzen

Verkenning effect verschuiven meetpunt recycling kunststofverpakkingen

Auteurs: M.T. Brouwer, I.W. Smeding en E.U. Thoden van Velzen

Instituut: Wageningen Food and Biobased Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food & Biobased Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (projectnummer 6229085900).

Wageningen Food & Biobased Research
Wageningen, maart 2019

Openbaar

Rapport 1923
ISBN 978-94-6343-927-5

Versie: definitief
Reviewer: Wouter Post
Goedgekeurd door: Arie van der Bent
Opdrachtgever: het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Financier: het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/474139/> of op www.wur.nl/wfbr (onder publicaties).

© 2019 Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen Food & Biobased Research is het niet toegestaan:

- a. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;
- b. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of Wageningen Food & Biobased Research, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;
- c. de naam van Wageningen Food & Biobased Research te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.

Postbus 17, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 00 84, E info.wfbr@wur.nl, www.wur.nl/wfbr.
Wageningen Food & Biobased Research is onderdeel van Wageningen University & 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.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Methode	7
2.1 Huidige berekening van het recyclingrendement	8
2.2 Nieuwe berekening van het recyclingrendement	8
2.3 Het rekenmodel	12
2.4 Data verzameling	12
2.4.1 Op de markt gebrachte kunststofverpakkingen	12
2.4.2 Gerecyclede kunststofverpakkingen	12
3 Resultaten	14
3.1 Gewassen maalgoed uit huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingen	14
3.1.1 Gemodelleerde hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijke kunststofverpakkingen	14
3.1.2 Uitvoeringwijzen mechanisch recyclingproces	15
3.1.3 Het ontstaan van fijngoed	16
3.1.4 Hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijke kunststofverpakkingen	17
3.2 Gewassen maalgoed uit via statiegeld ingezamelde kunststofverpakkingen	17
3.3 Gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig ingezameld kunststofverpakkingsafval	18
3.4 Recyclingrendement	18
4 Discussie	19
4.1 Uitvoeringswijze recyclingprocessen	19
4.2 Van meetpunt naar berekenpunt	20
4.3 PET schalen recycling	22
5 Conclusie	23
Woordenlijst	24
Referenties	25

Samenvatting

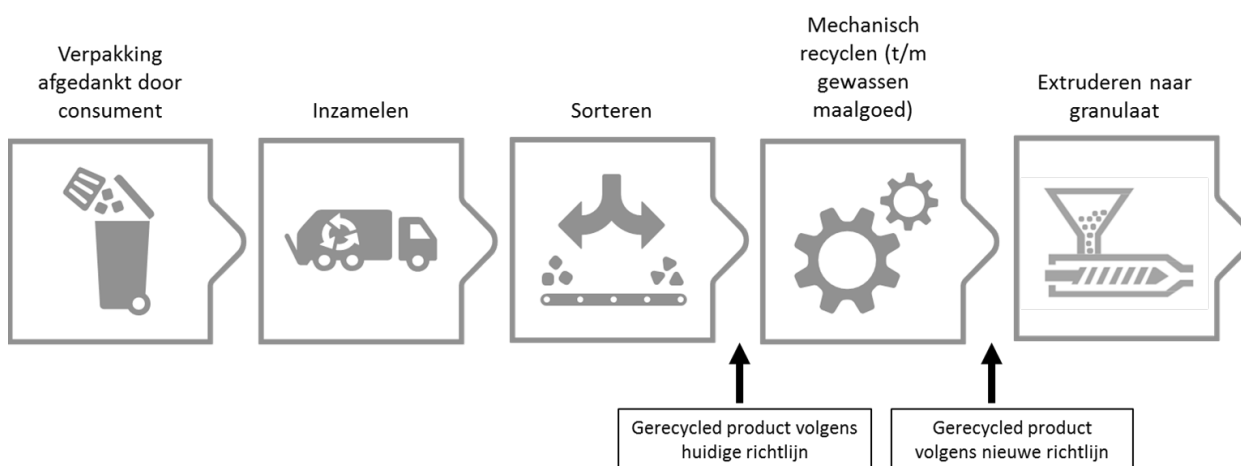
EU richtlijn 94/62/EG beschrijft welke doelstellingen moeten worden bereikt door de lidstaten met betrekking tot de terugwinning en recycling van verpakkingsafval. De richtlijn voor het bepalen van dit recyclingrendement wordt gewijzigd, deze wijziging is beschreven in EU richtlijn 2018/852. Door deze wijziging verschuift het meetmoment in de recyclingketen voor de bepaling van de hoeveelheid gerecycled kunststofverpakkingsafval. In de huidige regelgeving wordt de hoeveelheid sorteerproduct gemeten en (na enkele correcties) gerapporteerd. In de nieuwe regelgeving geldt als de hoeveelheid gerecycled kunststof het gewassen maalgoed, een product dat zich later in de keten bevindt. De nieuwe richtlijn zal dus effect hebben op het door Nederland gerapporteerde recyclingrendement. In opdracht van het Ministerie Infrastructuur en Waterstaat heeft Wageningen Food & Biobased Research onderzocht wat de effecten zijn van de nieuwe EU richtlijn 2018/852 op het door Nederland gerapporteerde recyclingrendement van kunststofverpakkingsafval.

Het recyclingrendement wordt bepaald op basis van onderstaande vergelijking. Waarbij het recyclingrendement (R_m) wordt berekend op basis van het gewicht gerecycled kunststofverpakkingsafval ($M_{gerecycled}$) en het gewicht op de markt gebrachte kunststofverpakkingen (M_{markt}).

$$R_m = \frac{M_{gerecycled}}{M_{markt}}$$

Berekening van het recyclingrendement

De hoeveelheid op de markt gebrachte kunststofverpakkingen zal met de invoer van de nieuwe richtlijn niet veranderen. De hoeveelheid te rapporteren gerecyclede kunststofverpakkingen zal echter wel anders worden. Als gevolg van de nieuwe wetgeving, zal later in het recycling proces gemeten worden, waardoor materiaalverliezen die optreden tijdens mechanische recycling van kunststofverpakkingen en het gewicht aan vocht en vuil in de verpakkingen niet meer meegenomen worden in het te rapporteren gewicht gerecyclede kunststoffen. Bij een gelijkblijvende situatie zal het te rapporteren percentage dus dalen. Het meetpunt verschuift van het sorteerproduct naar gewassen maalgoed, zoals weergegeven in de figuur hieronder.



Schematische weergave van het rekenpunt voor de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingen volgens de huidige en de nieuwe richtlijn

In 2017 werd in Nederland 512 kton aan kunststofverpakkingen op de markt gebracht. Deze verpakkingen worden gebruikt en afgedankt, waarna vervolgens een deel wordt gerecycled. Drie soorten gerecyclede kunststoffen worden onderscheiden: gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval, uit statiegeldflessen en uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval. De

hoeveelheid gewassen maalgoederen in deze verschillende categorieën kan worden opgeteld tot een totale hoeveelheid gerecycled kunststofverpakkingsafval, waarmee het recyclingrendement kan worden berekend. Voor 2017 is berekend dat de volgende hoeveelheden gewassen maalgoederen zijn geproduceerd:

- Uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval: tussen 82 en 94 kton
- Uit statiegeld: tussen 19 en 22 kton
- Uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval: tussen 77 en 82 kton.

Totaal wordt er in Nederland dus tussen 178 en 198 kton gerecycled kunststof uit verpakkingen opgeleverd. Het recyclingrendement van 2017 ligt op basis van het nieuwe meetpunt tussen de 35 en 39%.

Dit is lager dan het recyclingrendement zoals berekend op basis van de huidige richtlijn, dat rond de 50% ligt. In het huidige Uitvoerings- en monitoringprotocol verpakkingen worden de gewichten van de sorteerproducten bepaald voorafgaand aan het mechanisch recyclingproces. De som van deze gemeten hoeveelheden is, na enkele correcties voor de sorteerproducten uit huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingen, de totale massa gerecycled kunststof. De correcties die in Nederland op dit moment plaatsvinden, zijn al een goede stap in de richting van wat in de nieuwe richtlijn gevraagd wordt, toch gaat de nieuwe richtlijn verder. De daling van 50% naar 35-39% wordt veroorzaakt omdat later in het recycling proces wordt gemeten. Hierdoor worden materiaalverliezen die optreden tijdens mechanische recycling van kunststofverpakkingen niet meegeteld en wordt het gewicht aan vocht en vuil in de verpakkingen en het meekomende restafval (ook onder de DKR norm), niet meer meegenomen in het gewicht gerecyclede kunststoffen.

In 2017 werden PET schalen niet gerecycled. Het recyclingrendement zal hoger komen te liggen als deze verpakkingen in de toekomst wel worden gerecycled.

De keuze van het recyclingproces bepaalt het uiteindelijke recyclingrendement. Er zijn processen met hogere rendementen en processen met lagere rendementen. En ook processen met een betere kwaliteit eindproduct en processen met een lagere kwaliteit eindproduct. De keuze voor een andere uitvoeringswijze van het recyclingproces kan dus andere recyclaten opleveren, die anders worden toegepast. Het is onduidelijk of alle recyclaten die worden verwerkt in een product kunnen worden meegeteld in de hoeveelheid gerecycled materiaal, of dat er onderscheid moet worden gemaakt in het type toepassing van de recyclaten. Voornamelijk bij de recyclaten van lagere kwaliteit is dit de vraag. De in dit rapport gerapporteerde hoeveelheid gerecycled kunststof kan dus in de praktijk afwijken. Dit zal afhangen van de uitvoeringswijzen van de recyclingprocessen, de toepassing die gekozen wordt voor de recyclaten en de exacte definitie van herbewerking tot producten, materialen of stoffen. Opgemerkt moet worden dat deze voorbehouden over de 'kwaliteit van de recycling' voor de Nederlandse en Duitse kunststofrecyclers in steeds mindere mate spelen. Onze kunststofmarkt tendert toch steeds meer naar de productie van meer zuivere gerecyclede kunststoffen met een bredere toepasbaarheid. In deze gevallen zal het dus vooral gaan om het al dan niet meetellen van de bijproducten uit deze recyclingprocessen in de hoeveelheid gerecycled kunststof.

1 Inleiding

Dit project is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), tevens financier. Aanleiding voor het onderzoek is de nieuwe EU richtlijn 2018/852. Deze richtlijn geeft aan dat de Europese commissie van plan is om het meetmoment in de recyclingketen voor kunststofverpakkingen te verplaatsen. Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) is gevraagd om antwoord te geven op de volgende onderzoeksvraag: "Wat is het effect van deze nieuwe richtlijn op de recyclingketen en de door Nederland gerapporteerde hoeveelheid gerecycled kunststofverpakkingsafval?" Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van reeds bij WFBR beschikbare kennis. Daarnaast is overleg geweest met Stichting Afvalfonds Verpakkingen en een aantal recyclers om verdere informatie te verzamelen die nodig was voor het onderzoek. Dit rapport beschrijft de resultaten van dit onafhankelijke onderzoek.

Het Ministerie IenW moet de veranderingen die de richtlijn voorschrijft implementeren in de Nederlandse wetgeving, om precies te zijn in het Besluit Beheer Verpakkingen. Alvorens het Besluit aan te passen, wil het Ministerie inventariseren wat de effecten zijn van het verschuiven van het meetmoment in de recyclingketen ten aanzien van de door Nederland gerapporteerde hoeveelheid gerecycled kunststofverpakkingsafval.

Het Ministerie streeft naar een circulaire economie middels haar Circulaire economie beleid (Van Afval Naar Grondstof), hierin heeft het verduurzamen van de kunststofketen een prominente plaats. WFBR onderzoekt sinds 2008 het recyclingnetwerk voor - voornamelijk huishoudelijke - kunststofverpakkingen en publiceert hier regelmatig over.

Dit rapport is in eerste instantie bedoeld voor de opdrachtgever, het Ministerie van IenW. De definitieve versie van dit rapport zal openbaar gemaakt worden en het is dan dus inzichtelijk voor alle geïnteresseerden.

2 Methode

EU richtlijn 94/62/EG regelt het beheer van verpakkingen en verpakkingsafval, met als doel dit te harmoniseren. "Deze richtlijn heeft tot doel de nationale maatregelen betreffende het beheer van verpakking en verpakkingsafval te harmoniseren, enerzijds om elk effect daarvan op het milieu van de Lid-Staten en derde landen te voorkomen of te beperken en aldus een hoog milieubeschermingsniveau te waarborgen, en anderzijds om de werking van de interne markt te garanderen en handelsbelemmeringen, concurrentievervalsing en concurrentiebeperking in de Gemeenschap te voorkomen" [Richtlijn 94/62/EG]. In artikel 6 van deze richtlijn staat beschreven welke doelstellingen moeten worden bereikt door de lidstaten m.b.t. de terugwinning en recycling van verpakkingsafval. De richtlijn voor het bepalen van dit recyclingrendement wordt gewijzigd, deze wijziging is beschreven in EU richtlijn 2018/852. Door deze wijziging verschuift het meetmoment in de recyclingketen voor de bepaling van de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingsafval en dit zal dus effect hebben op het door Nederland gerapporteerde recyclingrendement om aan de EU-doelstellingen te voldoen.

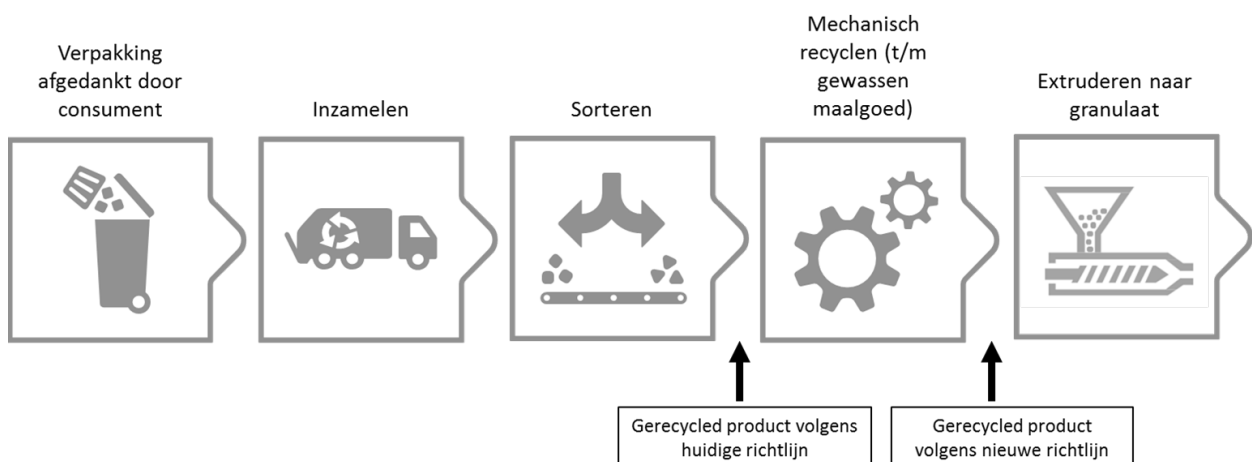
Het recyclingrendement wordt bepaald op basis van Vergelijking 1. Waarbij het recyclingrendement (R_m) wordt berekend op basis van het gewicht gerecyclede kunststofverpakkingsafval ($M_{gerecycled}$) en het gewicht op de markt gebrachte kunststofverpakkingen (M_{markt}).

$$R_m = \frac{M_{gerecycled}}{M_{markt}}$$

Vergelijking 1 Berekening van het recyclingrendement

De hoeveelheid op de markt gebrachte kunststofverpakkingen (M_{markt}) zal niet veranderen door de nieuwe richtlijn. Wel verschuift de locatie in de keten waarop de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingsafval wordt bepaald: van het sorteerproduct (met enkele correcties) naar het gewassen maalgoed, dus van het ingangsmateriaal voor mechanische recycling naar het gewassen maalgoed na mechanische recycling, zie Figuur 1. De manier waarop de hoeveelheid gerecyclede kunststoffen ($M_{gerecycled}$) wordt bepaald, verschuift dus van het sorteerproduct naar het gewassen maalgoed. In de volgende paragrafen wordt toegelicht wat hier precies mee bedoeld wordt.

Let op: in de EU richtlijn wordt gesproken over materiaal dat "de recyclingoperatie ingaat". Hiermee wordt de laatste stap in figuur 1 bedoeld. In dit rapport worden de voorbereidende stappen na sorteren tot aan de recycling operatie (zoals malen, wassen, drijf-zink scheiden, drogen) aangeduid als "mechanische recycling". Dit is een gangbare term in de recycling wereld.



Figuur 1 Schematische weergave van het rekenpunt voor de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingen volgens de huidige en de nieuwe richtlijn

2.1 Huidige berekening van het recyclingrendement

Het huidige meetpunt voor de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingen ligt bij de ingang van het de recycler (weegbrug). Dit zijn dus de sorteerproducten (output van sortering): balen gesorteerd product uit de sorteerinstallaties die moeten voldoen aan de DKR-specificaties¹. Deze sorteerproducten, die worden aangeleverd voor recycling, worden gewogen en deze hoeveelheid bepaalt de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingen [Nedvang en VNG]. Kortom, op dit moment is het meetpunt de sorteerproducten vóór verdere verwerking.

Voor de rapportage van het Nederlandse recyclingrendement voor kunststofverpakkingsafval wordt het totale gewicht aan sorteerproducten van huishoudelijk en bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval gemonitord. Vervolgens wordt de hoeveelheid huishoudelijk kunststofverpakkingsafval gecorrigeerd met 9,8% aan niet-verpakkingen en 4,3% voor de afwijking van deze sorteerproducten boven de gestelde DKR-normen voor vervuiling in het gesorteerde materiaal. In totaal komt Stichting Afvalfonds Verpakkingen dan op een gewicht voor $M_{gerecycled}$ van 258 kton, en daarmee met een recyclingrendement van 50% [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2018].

Deze huidige manier van meten en corrigeren gebeurt conform nationale afspraken en wetgeving. In de huidige EU situatie wordt voorgeschreven dat "significante verliezen" moeten worden afgetrokken, maar dat is niet uitgewerkt met als gevolg dat alle lidstaten dit anders doen. Doel van de nieuwe richtlijn is de rapportage van het recyclingrendement te harmoniseren.

2.2 Nieuwe berekening van het recyclingrendement

In EU richtlijn 2018/852 wordt de wijziging van richtlijn 94/62/EG beschreven. Hierin wordt onder andere in artikel 6 bis beschreven wat de berekeningsregels zijn voor het bepalen van de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingen. Met name in artikel 6 bis, 1b wordt weergegeven wat de nieuwe berekeningswijze zal worden:

'... wordt het gewicht van gerecycled verpakkingsafval berekend als het gewicht van verpakkingen die afval zijn geworden dat, na alle nodige controle-, sorteer- of andere voorbereidende behandelingen te hebben ondergaan om afvalstoffen te verwijderen waarop de verdere herverwerking niet gericht is en om recycling van hoge kwaliteit te waarborgen, wordt ingebracht in het recyclingproces waarbij afvalmaterialen daadwerkelijk worden herbewerkt tot producten, materialen of stoffen.'

[Richtlijn 94/62/EG]

De Europese Commissie heeft in de verpakkingen-richtlijn de opdracht gekregen de berekeningsregels verder uit te werken in zogenaamde uitvoeringshandelingen. Dit separate handelingsdocument (beschikbaar als finaal concept), geeft nadere uitleg over hoe de regels in richtlijn 94/62/EG precies moeten worden toegepast zodat de doelstellingen berekend kunnen worden. Deze handeling (een geamendeerde versie van Decision 2005/270/EC) geeft onder andere meer duidelijkheid over een aantal definities en over welke materialen wel en niet meegerekend moeten worden. De versie van de handeling zoals WFBR die op 15 februari 2019 van opdrachtgever heeft ontvangen is leidend voor dit rapport [European Commission, 2019]. Eventuele wijzigingen na die tijd zijn niet meegenomen. Hieronder volgt een aantal relevante citaten uit de genoemde handeling.

¹ DKR Specificaties: PET-flessen DKR 328-1, PET-schalen KIDV 05/2016, PE DKR 329, PP DKR 324, Films DKR 310 en Mixed plastics DKR 350.

Citaten uit de handeling bij richtlijn 94/62/EG van toepassing op deze studie

Artikel 2

'(d) 'calculation point' means the point where waste materials enter the recycling operation whereby waste is reprocessed into products, materials or substances that are not waste, or the point where waste materials cease to be waste following preliminary treatment;'

Artikel 6c 1.

'(a) The amount of packaging waste recycled shall be the amount of waste at the calculation point. The amount of waste entering the recycling operation shall include targeted materials. It may include non-targeted materials only to the extent that their presence is permissible for the specific recycling operation.'

'(b) Where the measurement point relates to the output of a facility that sends waste for recycling without further preliminary treatment, or to the input of a facility where waste enters the recycling operation without further preliminary treatment, the amount of sorted waste that is rejected by the recycling facility shall not be included in the amount of recycled waste.'

'(c) Where a facility carries out preliminary treatment prior to the calculation point in that facility, the waste removed during the preliminary treatment shall not be included in the amount of recycled waste reported by that facility.'

'(e) Where the humidity rate of packaging waste at the measurement point differs from that of packaging placed on the market, the amount of packaging at the measurement point shall be corrected in order to reflect the natural humidity rate of the packaging waste comparable to the humidity of equivalent packaging placed on the market. Existing European standards may be used to define the humidity rate in packaging waste.'

'(f) The amount of recycled packaging waste shall exclude non-packaging materials collected together with the packaging waste, such as waste of the same material that does not originate from packaging, and residues from products that the packaging used to contain.'

ANNEX II (Calculation points referred to in Article 6c(1)(a))

Plastics:

'Plastic separated by polymer that does not undergo further processing before entering pelletisation, extrusion, or moulding operations;

Plastic flakes that do not undergo further processing before their use in a final product.'

Op basis van deze citaten wordt in dit onderzoek voor het gewicht gerecyclede kunststofverpakkingen het gewicht van het gewassen maalgoed gehanteerd. Gewassen maalgoed is het eerste product na mechanische recycling. Met (nat-)mechanische recycling worden de volgende basis-processtappen bedoeld: malen, wassen, drijf-zink scheiden, drogen. Het resultaat hiervan is een schoon en droog gewassen maalgoed. Voor sommige bedrijven is dit een eindproduct dat ze verhandelen met andere bedrijven, voor andere recyclingbedrijven is dit een halffabricaat dat ze in het eigen bedrijf verder verwerken tot granulaten of eindproducten. Met gewassen maalgoederen wordt dus bedoeld versnipperd, gewassen en gedroogd kunststofmateriaal. In de nieuwe richtlijn zal het rekenpunt waarop de hoeveelheid gerecyclede kunststoffen bepaald wordt, dus verschuiven van het ingangsmateriaal voor mechanische recycling (het sorteerproduct: balen plastic als output van sorteerbeidrijf) naar het gewassen maalgoed, na mechanische recycling.

Daarnaast geeft de handeling duidelijkheid over welke materialen wel en niet mogen worden meegeteld in het gewicht gerecyclede kunststofverpakkingen. Zo worden de kunststoffen uit niet-verpakkingen niet meegeteld en wordt dus alleen gerekend met de kunststoffen die voortkomen uit verpakkingen [Handeling bij richtlijn 94/62/EG, artikel 6c 1.(f)]. In Nederland wordt in de huidige situatie ook al voor niet-verpakkingen gecorrigeerd.

Ook wordt in de handeling gesproken over het natuurlijk vochtgehalte van de gerecyclede verpakkingen [Handeling bij richtlijn 94/62/EG, artikel 6c 1.(e)]. Gewassen maaggoederen bevatten, in tegenstelling tot de sorteerproducten, nauwelijks vocht en/of vuil. Daarom wordt in deze studie geen extra correctie voor vocht en vuil gemaakt op het gewicht van het gewassen maaggoed. Hetzelfde geldt voor het overige ongewenste materiaal in het sorteerproduct [Handeling bij richtlijn 94/62/EG, artikel 6c 1.(b) en (c)].

Kortom, voor de berekening van het gewicht gerecyclede kunststof volgens de regels in de nieuwe richtlijn wordt in deze studie uitgegaan van het gewicht van uit kunststof verpakkingen afkomstig gewassen maaggoed na mechanische recycling, exclusief het gewichtsandaal niet-verpakkingen.

Figuur 2 toont ter illustratie een foto van het sorteerproduct (baal plastic als output van sorteerbedrijf) en figuur 3 toont een aantal foto's van gewassen maaggoed.



Figuur 2 *Foto van het sorteerproduct: een PE sorteerbaal, output van een sorteerbedrijf*



a.



b.



c.

Figuur 3 Foto's van gewassen maalgoed, a. PET gewassen maalgoed, b. PP gewassen maalgoed, c. PE gewassen maalgoed

2.3 Het rekenmodel

De gevolgen van de nieuwe richtlijn op het recyclingrendement zijn voor de huishoudelijke kunststofverpakkingen doorgerekend met het door WFBR ontwikkelde model² van de recyclingketen van kunststofverpakkingsafval [Brouwer et al., 2018; Thoden van Velzen et al., 2018a; Brouwer, et al. *under review*], hierna te noemen "het model". Dit model is gebaseerd op gegevens van 2017 en bevat een gedetailleerde beschrijving van de Nederlandse recyclingketen van huishoudelijk kunststofverpakkingsafval. Daarnaast is data van bedrijfsmatig ingezamelde kunststofverpakkingen en statiegeldflessen met aparte berekeningen toegevoegd.

Het model rekent de verschillende stappen van de recyclingketen door. Het start met de aanwezige verpakkingen bij huishoudens en bekijkt per stap wat er met de kunststoffen gebeurt in het sorteer- en recycling-proces, tot het gewassen maalgoed is. Binnen het model is gedetailleerde informatie aanwezig over de samenstelling van materialen en de oorsprong daarvan (bijvoorbeeld of het van een verpakking of niet-verpakking afkomstig is). Het model is een versimpelde weergave van de recyclingketen voor huishoudelijke kunststofverpakkingen in Nederland, en maakt geen onderscheid tussen de verschillende sorteer- en recyclingbedrijven. In het model wordt uitgegaan van een gemiddeld sorteerproces voor Nederlandse kunststofverpakkingen, welke door middel van steekproeven en data reconciliatie is bepaald [Brouwer et al., 2018]. Daarnaast wordt in het model uitgegaan van een basis proces voor nat-mechanische recycling om tot gewassen maalgoed te komen. Dit is vertaald naar overdrachtscoëfficiënten die experimenteel (in lab-situatie) zijn bepaald, en vervolgens zijn geverifieerd door een vergelijking met gewassen maalgoederen uit de praktijk [Brouwer et al., 2018]. De overdrachtscoëfficiënten geven aan hoeveel procent van een bepaald materiaal bij drijf-zink scheiding in de zinkfractie of in de drijffractie terecht komt. Bijvoorbeeld, bij PET zinkt 99% van het materiaal en zal zo'n 1% blijven drijven.

Naast het basis nat-mechanische recycling proces zijn inschattingen gemaakt voor het gebruik van extra scheidingsstappen in recyclingprocessen, zoals deze nu in de industrie plaatsvinden. Dit heeft geresulteerd in een bandbreedte voor de hoeveelheid gerecycled kunststof. Dit wordt nader uitgelegd in paragraaf 3.1.

2.4 Data verzameling

Om het recyclingrendement te berekenen moet de exacte definitie van de parameters M_{markt} en $M_{gerecycled}$ duidelijk zijn. Hierna kunnen de waarden van deze parameters worden bepaald en de berekening worden uitgevoerd.

2.4.1 Op de markt gebrachte kunststofverpakkingen

De definitie van de parameter M_{markt} is het totaalgewicht van op de markt gebrachte kunststofverpakkingen. Deze parameter is niet veranderd ten opzichte van de huidige berekening van het recyclingrendement. In 2017 is 512 kton kunststofverpakkingen op de markt gebracht, inclusief logistieke hulpmiddelen [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2017].

2.4.2 Gerecyclede kunststofverpakkingen

De definitie van parameter $M_{gerecycled}$ is afhankelijk van de regelgeving voor het bepalen van het gewicht gerecyclede kunststof. De waarde van deze parameter zal dus met de invoer van de nieuwe EU richtlijn veranderen. Met de nieuwe regelgeving is $M_{gerecycled}$ gedefinieerd als het gewicht van de gewassen maalgoederen, exclusief het gewichtsaandeel niet-verpakkingen hierin, zoals uitgelegd in paragraaf 2.1. Dit zijn dus netto waarden, die geen vocht, productresten of andere vervuiling bevatten.

² Het model is ontwikkeld binnen het project Sustainable Packages, gefinancierd door KIDV, TIFN en WFBR.

Het gewicht gerecycled kunststof ($M_{gerecycled}$) is een som van drie hoofd componenten: de hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval, uit statiegeldflessen en uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval. Beknopt wordt hieronder beschreven welke brondata zijn gebruikt om tot deze drie componenten te komen. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens in meer detail uitgelegd hoe de exacte berekeningen hebben plaatsgevonden om tot de resultaten te komen.

Gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval

De hoeveelheid gewassen maalgoederen uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval is gemodelleerd in voorgaand onderzoek [Brouwer et al., 2018; Brouwer et al., *under review*]. De meest recente data voor gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval is beschikbaar voor 2017.

Gewassen maalgoed uit statiegeldflessen

De hoeveelheid gewassen maalgoed uit statiegeldflessen kan worden berekend op basis van de voor recycling afgeleverde hoeveelheid statiegeldflessen en het vocht-vuilgehalte van deze flessen. Daarnaast is verondersteld dat de gehele fles geschikt is voor recycling, dus dat zowel het PET als het PE en PP van de doppen en labels kunnen worden verwerkt in nieuwe producten of zelfs verpakkingsonderdelen. De bruto hoeveelheid voor recycling afgeleverde statiegeldflessen is aangeleverd door Stichting Afvalfonds Verpakkingen [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2019].

Gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval

De hoeveelheid gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval kan worden berekend op basis van de bruto voor recycling afgeleverde hoeveelheid, zoals gemonitord door Stichting Afvalfonds Verpakkingen, en een ingeschat verliespercentage van het proces om tot gewassen maalgoed te komen (mechanische recycling).

3 Resultaten

De hoeveelheid gerecycled kunststofverpakkingsafval bestaat uit drie hoofdcomponenten die hieronder verder uitgewerkt worden: gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval, uit statiegeldflessen en uit bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval. Vervolgens kan de totale hoeveelheid gerecycled kunststof uit de drie componenten worden opgeteld, en daaruit kan het recyclingrendement worden berekend.

3.1 Gewassen maalgoed uit huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingen

3.1.1 Gemodelleerde hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijke kunststofverpakkingen

WFBR heeft in voorgaand onderzoek tot in detail huishoudelijk kunststofverpakkingsafval geanalyseerd en gemodelleerd [Brouwer et al., 2018; Brouwer et al., *under review*]. De meest recente data hiervan is beschikbaar voor 2017.

In het model wordt gerekend op basis van een basis nat-mechanisch recycling proces om tot gewassen maalgoed te komen met de volgende processtappen: malen, wassen, drijf/zink-scheiden en drogen. Uit de sorteerproducten PP, PE, Folie en Mix worden de drijfproducten verwerkt tot een recyclaat en uit het sorteerproduct PET worden zowel het drijf- als het zink-product verwerkt tot een recyclaat. Deze producten tellen dus mee in het gewicht gerecycled kunststof. De zinkproducten van PP, PE, Folie en Mix zijn op dit moment niet geschikt voor verdere recycling vanwege het grote aandeel PVC en andere verontreinigingen in deze producten [Thoden van Velzen et al., 2018a], daarom tellen deze producten niet mee in het gewicht gerecycled kunststof.

De gemodelleerde totale hoeveelheid gewassen maalgoed geproduceerd uit het huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingsafval (dus van zowel afkomstig van bron- en nascheiding) bedraagt 92 kton, zie Tabel 1 [Brouwer et al., 2018; Brouwer et al., *under review*]. Deze hoeveelheid is gebaseerd op de informatie in het model voor de recyclingketen van huishoudelijk kunststofverpakkingsafval. In dit model is de totale hoeveelheid geproduceerd gewassen maalgoed uit de Nederlandse sorteerproducten en de samenstelling van dit maalgoed beschreven. Voor deze studie is alleen het deel gewassen maalgoed afkomstig van verpakkingen meegenomen. Het materiaal uit niet-verpakkingen en andere objecten in het sorteerproduct zijn dus niet meegenomen. Wel is ál het materiaal afkomstig uit verpakkingen in het gewassen maalgoed meegenomen, dus bijvoorbeeld ook het PP materiaal dat terecht is gekomen in het PE gewassen maalgoed. Dit is immers een (kunststof) onderdeel van een verpakking geweest, en wordt verder verwerkt in het recyclaat.

Tabel 1 Gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval.

Sorteerproduct ter oorsprong van gewassen maalgoed	Drijf- / zink-fractie (hoofd-/bijproduct)	Hoeveelheid [netto kton, exclusief aandeel kunststof uit niet-verpakkingen]
PET flessen	Zink (hoofdproduct)	12,4
PE	Drijf (hoofdproduct)	12,8
PP	Drijf (hoofdproduct)	12,9
Folie	Drijf (hoofdproduct)	18,3
Mix	Drijf (hoofdproduct)	33,9
PET flessen	Drijf (bijproduct)	1,6
Totaal		92

Bron: Brouwer, et al. *under review*, (ketenmodel 2017)

3.1.2 Uitvoeringwijzen mechanisch recyclingproces

De hoeveelheden gewassen maalgoed die zijn geproduceerd uit sorteerproducten van huishoudelijke kunststofverpakkingen (zowel uit gescheiden inzameling als uit nascheiding) zijn in het model berekend met behulp van overdrachtscoëfficiënten van een basis nat-mechanisch recyclingproces om tot gewassen maalgoed te komen. Hoewel dit een goede inschatting geeft van de hoeveelheid gewassen maalgoed die er in Nederland uit deze sorteerproducten van kunststofverpakkingen wordt geproduceerd, is de werkelijkheid ingewikkelder. Er zijn namelijk verschillende mechanische recyclingprocessen met verschillende uitvoeringwijzen, waardoor zowel de hoeveelheid maalgoed als de kwaliteit hiervan kan variëren. De invloed hiervan wordt besproken in paragraaf 3.1.4 en 4.1.

De uitvoeringwijze van het mechanische recyclingproces, en het wel of niet toevoegen van extra scheidingstappen heeft invloed op de totale hoeveelheid gerecycled kunststof uit verpakkingen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de recycling van het sorteerproduct Folie (DKR 310). In het onderstaande tekstvak worden twee verschillende uitvoeringwijzen van het mechanisch recyclingproces voor folies uitgelegd. De hoeveelheid gerecycled kunststof volgens de nieuwe richtlijn wordt vervolgens voor beide voorbeelden besproken.

Voorbeelden van verschillende uitvoeringwijzen van het recyclingproces van folies

Voorbeeld 1: 'Ouderwets droog-mechanisch opwerkproces'. Het DKR 310 materiaal wordt losgemaakt en vervolgens langs een schudzeef, een magneet en een wervelstroomscheider geleid om oppervlakkige vervuiling en metalen af te scheiden. Vervolgens wordt het materiaal grof gemalen en weer over een schudzeef geleid, waarbij papier, zand en vocht deels wordt afgescheiden. Hierna wordt dit materiaal geagglomereerd. Dat wil zeggen tot ruwe plukjes half gesmolten materiaal gekneet onder verhitting. Het product heet 'agglomeraat' en de losse stukjes folies zijn er nog in te onderscheiden. Tijdens de agglomeratie van de foliesnippers verdampt er veel vocht. Dit agglomeraat is geschikt voor minder toepassingsmogelijkheden en kan alleen gebruikt worden als binnenlaag in dikwandige objecten zoals tuinmeubelen. Dit recyclingbedrijf heeft dus één inputstroom (DKR 310), een product (agglomeraat) en enkele nevenstromen: fijngoed van de schudzeven dat wordt verbrand en metalen die worden verkocht en grotendeels gerecycled.

Voorbeeld 2: 'Modern folie-opwerkproces'. Het DKR 310 materiaal wordt losgemaakt en vervolgens langs een schudzeef, magneet en wervelstroomscheider geleid, om daarna te worden ontdaan van PP-folies en laminaat-folies met NIR-sorteermachines. Hierna wordt het materiaal gemalen, gewassen en op dichtheid gescheiden. Hierbij wordt een drijvend hoofdproduct verkregen, dat eerst wordt geagglomereerd en vervolgens geëxtrudeerd tot granulaat. Vanuit één grondstof (DKR 310) wordt één hoofdproduct (granulaat) gemaakt en verschillende bijproducten (fijngoed van zeef, PP-folie, laminaatfolie, zinkgoed en slib). Daarnaast is vocht tijdens het proces verdwenen en is vuil van het folie afgewassen en als opgeloste stof naar de waterzuivering gebracht. Het geproduceerde granulaat heeft meer veeleisende toepassingen en kan bijvoorbeeld gebruikt worden om nieuwe vuilniszakken van te maken. De meeste bijproducten (met uitzondering van het metaal en wellicht de PP-folie) zijn niet geschikt voor verdere recycling.

Volgens de oude richtlijn zal voor beide uitvoeringwijzen het ingaande gewicht van het sorteerproduct Folie (DKR 310) met enkele correcties, zoals beschreven in paragraaf 2.1, gelden als het gewicht van het gerecycled product.

Volgens de nieuwe richtlijn geldt voor Voorbeeld 1 dat het afgescheiden fijngoed, afgedampt vocht en afgescheiden metaal ook moet worden afgetrokken van het ingaande gewicht. De restafvalcomponenten die niet worden afgescheiden en integraal onderdeel worden van het agglomeraat zullen echter wel worden meegeteld als gerecycled product. In Voorbeeld 2 wordt naast de hiervoor genoemde verontreinigingen ook het PP folie, laminaten en afgewassen vuil afgescheiden. De bijproducten die niet verder gerecycled worden moeten dus worden afgetrokken van het ingaande gewicht. Dit verschil resulteert in een lagere hoeveelheid gerecycled kunststof bij Voorbeeld 2 en dus een lager recyclingrendement. Dit proces levert wel een gerecycled product op dat polymeer-zuiverder is, geschikt is voor meer veeleisende toepassingen.

In het model is voor het folie-product gerekend met hetzelfde basis nat-mechanisch recyclingproces als voor andere kunststoffen. Dit betekent dat het materiaal wel wordt gewassen en drijf/zink-gescheiden, maar niet verder wordt gesorteerd met NIR-machines voor de verwijdering van laminaten en PP-folies. De hoeveelheid gewassen maalgoed kan dus hoger (zoals bij voorbeeld 1) en lager (zoals bij voorbeeld 2) uitvallen, afhankelijk van de uitvoeringswijze van het recyclingproces. Voor een droog mechanisch recyclingproces zoals in voorbeeld 1 kan het gewicht van het gewassen maalgoed uit het model worden bepaald door het netto gewicht van de verpakkingen in het sorteerproduct Folie op te tellen. Wanneer alle folie-sorteerproducten droog-mechanisch worden opgewerkt zal dit 20,8 kton gewassen maalgoed opleveren. Uitgaande van een basis nat-mechanisch recyclingproces is dit 18,3 kton (zie tabel 1).

Ook voor andere sorteerproducten dan Folie, zoals PE vormvast (DKR 329) en PP vormvast (DKR 324) kunnen verschillende recyclingprocessen worden gevolgd en heeft die keuze invloed op het recyclingrendement. Met het basis recyclingproces worden van beide sorteerproducten gewassen maalgoederen gemaakt met een polymeerzuiverheid van rond de 90% [Brouwer et al. 2018, Brouwer et al., *under review*]. In de berekening van $M_{gerecycled}$ wordt de aanwezige polymere verontreiniging uit verpakkingen meegeteld in de totale hoeveelheid gerecycled product; deze recyclingproducten zijn vanwege hun beperkte zuiverheid ook beperkt toepasbaar. Daarom worden er door sommige recyclers extra scheidingsstappen toegevoegd aan het recyclingproces, om een polymeer-zuiverder recyclaat te kunnen produceren. Deze meer geavanceerde recyclingprocessen kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd. Een voorbeeld hiervan is een proces waarbij gewassen maalgoed nog onderworpen wordt aan series NIR-sorteermachines waarmee de polymeerzuiverheid naar 97% en hoger kan worden gebracht. Deze recyclingproducten kunnen ook gebruikt worden in meer veeleisende toepassingen (bijvoorbeeld de productie van flacons). Om dit recyclaat met een hogere polymeerzuiverheid te maken, moeten dus wel de verontreinigingen worden afgescheiden. Dit levert massaverlies op en ook een polymeer-onzuiver bijproduct met beperkte toepasbaarheid. Het massaverlies dat optreedt zal afhangen van de exacte uitvoeringswijze van het recyclingproces, en kan in de praktijk dus enorm variëren. Door extra scheidingsstappen is een massarendement van 80 - 90% te verwachten³ [Langen, 2018]. Het gemodelleerde mechanisch recyclingproces wordt gezien als een basisproces dat kan worden uitgebreid met extra scheidingstechnieken. Dit kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, waarbij een verlies van maximaal 20% wordt ingeschat. Voor sommige processen zal dit verlies dus lager liggen. De hoeveelheid gerecycled PE, PP en folie zal bij uitgebreidere recyclingprocessen dus maximaal zo'n 20% minder zijn dan de gemodelleerde hoeveelheid. Daarentegen wordt er een polymeer-onzuiver bijproduct geproduceerd, dat wellicht kan worden gerecycled in dikwandige producten, en dus zou mogen worden meegeteld in de hoeveelheid gerecycled kunststof uit verpakkingen.

3.1.3 Het ontstaan van fijngoed

Naast de extra verliezen die kunnen ontstaan door extra scheidingsstappen in het recyclingproces, zullen er voor een aantal kunststoffen ook extra verliezen optreden tijdens het mechanische recyclingproces die niet zijn meegenomen in de gemodelleerde hoeveelheid gewassen maalgoed. De reden hiervoor zijn de experimenteel bepaalde overdrachtscoëfficiënten. Met deze overdrachtscoëfficiënten eindigen de kunststof materialen altijd in het drijvend ofwel het zinkend product en nooit in het procesafval. In de praktijk zal een deel van de kunststoffen wel als procesafval worden afgescheiden, meestal in de vorm van fijngoed. Dit fijngoed ontstaat bij het malen van de kunststofverpakking en bestaat uit hele kleine stukjes kunststof. Na het wassen van het maalgoed zal dit fijngoed door de zeven vallen, worden verwijderd uit het recyclingproces en worden verbrand. De hoeveelheid fijngoed die ontstaat tijdens mechanische recycling is afhankelijk van het type materiaal dat wordt gerecycled (PET, PP, PE, etc.), en ook afhankelijk van de uitvoeringswijze van het mechanisch recyclingproces (maalgrootte, zeefgrootte, etc.). Voornamelijk bij PET en PP recycling kunnen verliezen van fijngoed ontstaan. Deze verliezen kunnen rond de 5% liggen⁴.

³ Informatie op basis van persoonlijke communicatie met recyclers.

⁴ Afgerond ingeschat op basis van persoonlijke communicatie met recyclers.

3.1.4 Hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijke kunststofverpakkingen

De hoeveelheid gewassen maalgoed uit huishoudelijke kunststofverpakkingen kan dus variëren door verschillende uitvoeringswijzen van het mechanisch recyclingproces en eventuele extra verliezen die optreden door het verlies van fijngoed. In Tabel 2 is een overzicht opgenomen van de hoeveelheden gewassen maalgoed per product, gebaseerd op de data uit het model en de hierboven beschreven inschattingen die de bandbreedte aangeven. De totale hoeveelheid gerecycled kunststof uit verpakkingen zal dus tussen de 82 en 94 kton liggen.

Tabel 2 Gewassen maalgoed uit huishoudelijk kunststofverpakkingsafval.

Sorteerproduct ter oorsprong van gewassen maalgoed	Drijf- / zink- fractie (hoofd- /bijproduct)	Hoeveelheid bij basis nat-mechanisch recyclingproces [kton]	Hoeveelheid bij droog-mechanisch recyclingproces [kton] (folie)	Verlies fijngoed (PET, PP)	Maximaal verlies door extra scheidingsstappen (PE, PP, Folie)	Bovengrens bandbreedte	Ondergrens bandbreedte
PET	Zink (hoofdproduct)	12,4		5%		12,4	11,8
PE	Drijf (hoofdproduct)	12,8			20%	12,8	10,2
PP	Drijf (hoofdproduct)	12,9		5%	20%	12,9	9,8
Film	Drijf (hoofdproduct)	18,3	20,8		20%	20,8	14,7
Mix	Drijf (hoofdproduct)	33,9				33,9	33,9
PET	Drijf (bijproduct)	1,6				1,6	1,6
Totaal		92				94	82

3.2 Gewassen maalgoed uit via statiegeld ingezamelde kunststofverpakkingen

De bruto hoeveelheid voor recycling afgeleverde statiegeldflessen is aangeleverd door Stichting Afvalfonds Verpakkingen. In 2017 is 23 bruto kton statiegeldflessen voor recycling afgeleverd [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2019]. Vervolgens is deze hoeveelheid voor dit onderzoek gecorrigeerd voor het vocht-vuilgehalte aan de flessen, dat levert een netto hoeveelheid statiegeldflessen op. Het vochtvuilgehalte van statiegeldflessen in geperste balen die worden aangeleverd aan de recycler is in eerder onderzoek bepaald en is $8 \pm 2\%$ [Thoden van Velzen et al., 2016]. De netto hoeveelheid voor recycling afgeleverde statiegeldflessen is dus gemiddeld 21 kton.

De gemiddelde PET fles die wordt ingezameld via het statiegeldsysteem bestaat uit 91% PET, 7% PE of PP uit de dop en nek-ring van de flessen en 2% voor het label⁵. De meeste labels zijn van PP gemaakt, maar ook andere materialen komen voor zoals PS, papier, etc. In het model gaan we uit van standaard overdrachtscoëfficiënten voor nat-mechanische recycling, waarbij de kunststoffen ofwel eindigen in het drijvend product ofwel in het zinkend product en dus nooit in het procesafval. In de praktijk worden de labels vaak voorafgaand aan het wassen afgescheiden middels windziften. De labels komen dus in het windziftproduct, dat kan worden verwerkt als kunststofmix in dikwandige producten. Eventuele papieren labels worden tijdens het wasproces afgewassen en met het slib verwerkt. De doppen en nekringen (PE of PP) worden van het PET gescheiden middels drijf/zink-scheiding; zowel het zinkproduct, als het drijfproduct worden gerecycled. Volgens de theoretische berekening met de overdrachtscoëfficiënten zal er dus geen materiaalverlies optreden tijdens de mechanische recycling van de PET flessen. Dit is echter een benadering van de werkelijkheid, aangezien in de praktijk wel (beperkte) materiaalverliezen zullen optreden tijdens dit proces.

⁵ Deze inschatting is op gebaseerd bij WFBR beschikbare data van PET flessen [Thoden van Velzen et al., 2016].

Er ontstaat namelijk, net als bij PET recycling uit huishoudens zo'n 5% fijngoed (zie paragraaf 3.1.3). Daarnaast bestaan niet alle PET flessen in het statiegeld volledig uit PET in combinatie met PE en/of PP, dus er zullen ook verpakkingsonderdelen worden afgescheiden tijdens het recyclingproces.

De totale hoeveelheid gewassen maalgoed geproduceerd uit statiegeldflessen zal dus tussen de 19 en 22 kton liggen, afhankelijk van het daadwerkelijke vochtgehalte en de hoeveelheid fijngoed en ander materiaal dat wordt afgescheiden in het recycling proces.

3.3 Gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig ingezameld kunststofverpakkingsafval

Het bedrijfsmatig ingezamelde kunststofverpakkingsafval bestaat op dit moment voornamelijk uit logistieke hulpmiddelen en folie-materiaal. Bij logistieke hulpmiddelen moet bijvoorbeeld gedacht worden aan kunststof kratten, jerrycans en IBC's (Intermediate Bulk Containers) voor vloeistoffen. De hoeveelheid gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig ingezameld kunststofverpakkingsafval kan worden berekend op basis van de bruto voor recycling afgeleverde hoeveelheid, zoals gemonitord door Stichting Afvalfonds Verpakkingen. In 2017 is 114 bruto kton bedrijfsafval voor recycling afgeleverd [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2018], waarvan 23 kton uit statiegeldflessen bestaat. Er blijft dan 91 bruto kton bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval over.

Dit bruto getal wordt gecorrigeerd voor de verliezen tijdens het mechanische recycling proces van dit materiaal. Stichting Afvalfonds Verpakkingen heeft gesprekken met recyclingbedrijven gevoerd. Deze bedrijven schatten het verliespercentage voor bedrijfsafval in op 10 tot 15%. Beter informatie dan een eerste inschatting van dit verlies is op dit moment niet beschikbaar. Voor een beter inzicht in deze verliezen is aanvullend onderzoek nodig. De verliezen worden veroorzaakt door het vocht- en vuilgehalte van de ingezamelde verpakkingen, andere materialen op deze verpakkingen (zoals stickers) en procesafval dat optreedt tijdens het recyclingproces van verpakking tot gewassen maalgoed.

De totale hoeveelheid gewassen maalgoed geproduceerd uit het bedrijfsmatig kunststofverpakkingsafval wordt hiermee ingeschat op 77 tot 82 kton.

3.4 Recyclingrendement

Het recyclingrendement kan berekend worden met vergelijking 1 (zie hoofdstuk 2) door het gewicht gerecycled kunststofverpakkingsafval ($M_{gerecycled}$) te delen door het gewicht op de markt gebrachte kunststofverpakkingen (M_{markt}).

De totale hoeveelheden gewassen maalgoed zijn weergegeven in Tabel 3. Op basis van de drie hoofdcomponenten van kunststofverpakkingsafval (huishoudelijk, statiegeld, bedrijfsafval), kan het totaal berekend worden. Dit komt uit op een totale hoeveelheid van tussen de 178 en 198 kton op basis van de nieuwe richtlijn.

Tabel 3 Gerecyclede kunststofverpakkingen.

	Hoeveelheid [kton]
Gewassen maalgoed uit huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingen	Tussen de 82 en 94
Gewassen maalgoed uit statiegeldflessen	Tussen de 19 en 22
Gewassen maalgoed uit bedrijfsmatig ingezamelde kunststofverpakkingen	Tussen de 77 en 82
Totale hoeveelheid gewassen maalgoed uit kunststofverpakkingen	Tussen de 178 en 198

In combinatie met de op de markt gebrachte hoeveelheid van 512 kton resulteert dit in een recyclingrendement – volgens de nieuwe EU richtlijn – van tussen de 35 en 39%.

4 Discussie

4.1 Uitvoeringswijze recyclingprocessen

In paragraaf 3.1.2 is uitgelegd dat er verschillende uitvoeringswijzen voor recyclingprocessen bestaan. De keuze van het recyclingproces bepaalt het uiteindelijke recyclingrendement. Er zijn processen met hogere rendementen en processen met lagere rendementen. En ook processen met een betere kwaliteit eindproduct en processen met een lagere kwaliteit eindproduct. De keuze voor een andere uitvoeringswijze van het recyclingproces kan dus andere recyclaten opleveren, die anders worden toegepast.

Maar wat wordt nu eigenlijk nog onder 'gerecycled product' geschaard en wat niet? In de nieuwe richtlijn is het gewicht gerecycled verpakkingsafval als volgt gedefinieerd: *"het gewicht van verpakkingen die afval zijn geworden dat, na alle nodige controle-, sorteer- of andere voorbereidende behandelingen te hebben ondergaan om afvalstoffen te verwijderen waarop de verdere herverwerking niet gericht is en om recycling van hoge kwaliteit te waarborgen, wordt ingebracht in het recyclingproces waarbij afvalmaterialen daadwerkelijk worden herbewerkt tot producten, materialen of stoffen."*

Daarnaast wordt recycling door de EU als volgt gedefinieerd: *"Recycling is elke nuttige toepassing waardoor afvalstoffen opnieuw worden bewerkt tot producten, materialen of stoffen, voor het oorspronkelijke doel of voor een ander doel. Dit omvat het opnieuw bewerken van organisch afval, maar het omvat niet energierecuperatie, noch het opnieuw bewerken tot materialen die bestemd zijn om te worden gebruikt als brandstof of als opvulmateriaal"* [Europees Parlement, 2008].

Opvulmateriaal wordt dus niet gezien als recycling. Opvulmateriaal/opvulling is volgens dezelfde richtlijn gedefinieerd als: *"handeling voor nuttige toepassing waarbij niet-gevaarlijk afval wordt gebruikt voor het herstel van uitgegraven terreinen of voor civieltechnische toepassingen bij de landschapsaanleg. Afval dat wordt gebruikt voor opvulling moet dienen ter vervanging van niet-afvalmaterialen, geschikt zijn voor de voornoemde doelen en worden beperkt tot de hoeveelheid die strikt noodzakelijk is om deze doelen te bereiken"*.

Recyclaten van lage kwaliteit kunnen doorgaans alleen gebruikt worden als binnenlaag in dikwandige producten, bijvoorbeeld bermpaaltjes of parkbankjes. Het materiaal dat wordt toegevoegd als binnenlaag van een dikwandig product, is als opvulling bedoeld, terwijl de buitenlaag voor de uiteindelijke mechanische eigenschappen zorgt die noodzakelijk zijn voor de toepassing. De vraag is of dit dan als gerecycled materiaal telt of niet? Volgens de hierboven genoemde definitie is het geen opvulmiddel, want het wordt niet gebruikt voor het herstel van uitgegraven terreinen of voor civieltechnische toepassingen. Daarentegen bevat het materiaal niet de materiaaleigenschappen die voor het product waarin ze worden toegepast nodig zijn, en lijkt deze vorm van verwerking dus meer op opvulmateriaal dan op de toepassing in een product. Dit roept de vraag op of hier sprake is van een nuttige toepassing? Daarnaast is de vraag of de toepassing van lagere kwaliteiten recycleert, zoals de toepassing als binnenlaag in dikwandige producten, een vorm van recycling is waarmee recycling van hoge kwaliteit wordt gewaarborgd, zoals de richtlijn verlangt. Dit leidt tot de vraag: vallen alle toepassingen van recycleert in producten onder de definitie "daadwerkelijk worden herbewerkt tot producten, materialen of stoffen" of zijn er uitzonderingen?

Daarnaast zijn er in het verleden ook voorbeelden geweest van toepassingen van lage kwaliteit recyclaten uit kunststofverpakkingsafval als opvulmateriaal in bijvoorbeeld asfalt. Bij deze toepassing is het duidelijk dat dit wordt gerekend als een opvulmateriaal: *"voor civieltechnische toepassingen bij de landschapsaanleg"* en dus niet kan worden meegenomen in de hoeveelheid gerecycled kunststof. Ook zijn er voorbeelden van *blends* van kunststoffen, bijvoorbeeld een PE/PP mix, die wel kunnen worden gebruikt in dikwandige producten en hiervoor de benodigde mechanische eigenschappen bevatten.

De markt voor recyclaten uit kunststofverpakkingsafval is aan allerlei invloeden onderhevig, en het is dus moeilijk te bepalen hoeveel kunststofverpakkingsafval op de verschillende manieren toegepast wordt. Er zijn veel verschillende toepassingsmogelijkheden van recyclebaar denkbaar, waarvan er hierboven een aantal voorbeelden genoemd zijn. Deze verscheidenheid van toepassingsmogelijkheden maakt het moeilijk om te bepalen hoeveel gerecyclede kunststof dat voldoet aan de definitie er daadwerkelijk zal worden opgeleverd.

In het geval dat geen onderscheid wordt gemaakt in het type toepasbaarheid van recyclaten, zouden recyclingprocessen met minder scheidingsstappen die dus resulteren in een recyclebaar dat alleen geschikt is voor minder veeleisende toepassingen (voornamelijk als binnenlaag in dikwandige producten) zorgen voor een hoger recyclingrendement. De vraag is dan wel of hier altijd sprake is van nuttige toepassing en of deze recyclaten kunnen worden meegeteld als gerecyclede kunststof. Bij de productie van recyclaten die geschikt zijn voor meer veeleisende toepassingen zijn een aantal verliezen ingeschat (zie tabel 2) waardoor het recyclingrendement lager uitvalt. Sommige bijproducten die nu als verliezen zijn genoteerd, zouden wellicht als vulmiddel kunnen worden toegepast in een product. Hiermee zou het recyclingrendement van deze recyclingprocessen weer wat hoger uitkomen. Maar ook daarbij is het de vraag is of deze meegeteld kunnen worden als gerecyclede.

Kortom, het is onduidelijk of alle recyclaten die worden verwerkt kunnen worden meegeteld in de hoeveelheid gerecyclede materiaal. De in dit rapport gerapporteerde hoeveelheid gerecycleerd kunststof kan dus in de praktijk afwijken. Dit zal afhangen van de uitvoeringswijzen van de recyclingprocessen, de toepassing die gekozen wordt voor de recyclaten en de exacte definitie van herbewerking tot producten, materialen of stoffen.

Opgemerkt moet worden dat deze voorbehouden over de 'kwaliteit van de recycling' voor de Nederlandse en Duitse kunststofrecyclers in steeds mindere mate spelen. Onze kunststofmarkt tendert toch steeds meer naar de productie van meer zuivere gerecyclede kunststoffen met een bredere toepasbaarheid. In deze gevallen zal het dus vooral gaan om het al dan niet meetellen van de bijproducten uit deze recyclingprocessen in de hoeveelheid gerecyclede kunststof.

4.2 Van meetpunt naar berekenpunt

Met de nieuwe Europese richtlijn wordt de berekeningswijze van het recyclingrendement veranderd. Het te rapporteren recyclingrendement zal na invoering van de nieuwe EU richtlijn dalen van 50% naar zo'n 35 tot 39%, uitgaande van dezelfde situatie in de praktijk. Dit komt omdat het rekenpunt later in de keten wordt gelegd, waardoor vocht en vuil niet meer worden meegeteld en er meer materiaalverliezen hebben plaatsgevonden.

De huidige systematiek is vastgesteld in het Uitvoerings- en monitoringprotocol verpakkingen. Dit protocol is het resultaat van overleg tussen Nedvang/Afvalfonds en VNG en is mede vastgesteld door het Ministerie IenW [Nedvang en VNG]. In het huidige protocol worden de gewichten van de sorteerproducten bepaald voorafgaand aan het mechanisch recyclingproces. De som van deze gemeten hoeveelheden is, na enkele correcties voor de sorteerproducten uit huishoudelijk ingezamelde kunststofverpakkingen, de totale massa gerecyclede kunststof. De correcties die in Nederland op dit moment plaatsvinden, zijn al een goede stap in de richting van wat in de nieuwe richtlijn gevraagd wordt.

In de toekomstige systematiek, zoals beschreven in de nieuwe richtlijn, zal het recyclingrendement worden vastgesteld op basis van de gewichten aan gerecyclede producten die zijn voortgekomen uit kunststofverpakkingen en waaruit niks meer wordt verwijderd als afvalstof. In deze studie is de interpretatie van dit meetpunt gehanteerd als de massa geproduceerde gewassen maalgoederen, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Echter is aan maargoed niet meer te zien of het afkomstig is van een verpakking of niet. Daarbij is het ook moeilijk dit materiaal te wegen aangezien dit materiaal niet altijd een verhandeld product is (zoals bij de sorteerproducten het geval is), maar vaak het tussenproduct van een recycler die dit verwerkt tot een granulaat of eindproduct. Dit maakt het waarschijnlijk dat voor de nieuwe systematiek het meetpunt nog steeds de gewogen hoeveelheid sorteerproducten is, maar waarvan dan verschillende stelposten moeten worden afgetrokken. Dit levert dan een berekende hoeveelheid gerecyclede kunststof op, waarmee dan vervolgens het nieuwe recyclingrendement kan worden berekend. De EU werkt nog aan aanvullende handvatten om 'average loss rates' te bepalen waarmee de hoeveelheid gerecyclede materiaal en dus het recyclingrendement berekend kan worden. .

Hiermee verandert de aard van de vaststelling steeds meer van een meting met een minimale berekening naar een meting met aanzienlijke berekeningen, vandaar dat er in de oude systematiek nog van een 'meetpunt' wordt gesproken en in de toekomstige systematiek onderscheid wordt gemaakt tussen het 'meetpunt' en het 'rekenpunt'. Dit wordt ook op deze manier verwoord in de EU wetgeving.

De cruciale vragen voor de nieuwe systematiek is wat die aftrekposten zijn en op welke wijze deze in de toekomst betrouwbaar zijn in te schatten. Hoe dit te organiseren, is aan de betrokken partijen, desalniettemin geeft de berekeningswijze in deze studie een beeld van de correcties die zullen moeten plaatsvinden om van het meetpunt naar het rekenpunt te komen.

De berekeningswijze is op te delen in twee rekenstappen. Als eerste moet het bruto gewicht van het sorteerproduct worden omgerekend naar een netto-materiaalgewicht van de verpakkingen in het sorteerproduct. Ten tweede zullen de materiaalverliezen tijdens mechanische recycling – dus van sorteerproduct naar gewassen maargoed – moeten worden bepaald.

Om het bruto gewicht van het sorteerproduct om te rekenen naar een netto-materiaalgewicht van de verpakkingen in het sorteerproduct moeten een aantal componenten worden afgetrokken van het bruto gewicht van het sorteerproduct:

- a) Het gehalte aan kunststof niet-verpakkingen gemeten als losse objecten in het sorteerproduct. Deze correctie wordt al gemaakt bij de rapportage van het huidige recyclingrendement. Op dit moment wordt gecorrigeerd voor 9,8% niet-verpakkingen in het sorteerproduct [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2018].
- b) Het gehalte aan andere materialen (papier & karton, metaal, glas, textiel, organisch materiaal, etc.) gemeten als losse objecten in het sorteerproduct. Op dit moment wordt gecorrigeerd voor de overmatige vervuiling in het sorteerproduct ten opzichte van de DKR norm. Deze correctie staat momenteel op 4,3% [Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2018]. Volgens de nieuwe richtlijn zal dus voor alle vervuiling moeten worden gecorrigeerd.
- c) Het gehalte aan aanhangend vocht- en vuil aan de kunststofverpakkingen die aanwezig zijn in het sorteerproduct. De in het model gebruikte vocht-vuilgehalten zijn bepaald per sorteerproduct, volgens de methode zoals beschreven in het WFBR sorteerprotocol [Thoden van Velzen et al., 2018b].

Om het netto gewicht van de verpakkingen in het sorteerproduct om te rekenen naar een verwachte hoeveelheid gewassen maalgoed is voor de huishoudelijke kunststofverpakkingen gebruik gemaakt van het rekenmodel. Voor de andere stromen (statiegeld en bedrijfsmatig kunststofverpakkingafval) zijn inschattingen van de materiaalverliezen tijdens mechanische recycling gebruikt. In het rekenmodel wordt de omzetting van sorteerproduct naar gewassen maalgoed berekend met behulp van de volgende parameters:

- a) De verpakkingstypen die aanwezig zijn in het sorteerproduct.
- b) De materiaalsamenstelling van deze verpakkingstypen. Uit de combinatie van verpakkingstypen in het sorteerproduct en hun materiaalsamenstelling wordt een gemiddelde materiaalsamenstelling van het vuile maalgoed berekend.
- c) De verwachte overdrachtscoëfficiënten van de verschillende materialen in het sorteerproduct, na malen, tijdens drijf/zink-scheiding. Zoals beschreven in paragraaf 3.1.2. kunnen deze verliezen sterk verschillen per systeem-herkomst (bron- of nascheiding, bedrijfsmatig, etc.), sorteerproces en recyclingproces. Met de overdrachtscoëfficiënten wordt berekend welk deel van het vuile maalgoed uiteindelijk in het hoofdproduct gewassen maalgoed terecht zal komen en welk deel zal worden afgescheiden.

4.3 PET schalen recycling

In 2017 werden PET schalen apart gesorteerd in het PET schalen sorteerproduct, maar nog niet gerecycled [Brouwer et al., *under review*]. Daarom is de recycling van deze verpakkingen nog niet meegenomen in de hoeveelheid gewassen maalgoed geproduceerd uit huishoudelijke kunststofverpakkingen. Wanneer deze PET-schalen met een basis nat-mechanisch recyclingproces zouden worden gerecycled, dan zou dat zo'n 16 kton extra gewassen maalgoed opleveren.

Het is echter zeer onwaarschijnlijk dat PET schalen worden verwerkt met alleen een basis-mechanische recyclingproces [Thoden van Velzen, 2017]. Het recyclingbedrijf 4PET is bezig met het opzetten van een recyclingproces voor PET schalen. Dit recyclingproces kent meer processtappen dan het basis nat-mechanisch recyclingproces waarmee gerekend wordt in het model. Voorafgaand aan het malen worden de PET schalen gewassen in een voorwas, en vindt er een windziftstap plaats om de folies en etiketten te verwijderen⁶. Vervolgens worden de PET schalen nat gemalen, worden ze gespoeld en gewassen met heet water, en daarna vindt een drijf/zink-scheidingstap plaats. Ook bij de recycling van PET schalen treden er fijngoedverliezen op.

De totale hoeveelheid gewassen maalgoed geproduceerd uit huishoudelijk ingezamelde PET schalen wordt rekening houdend met de aanvullende processtappen die nodig zullen zijn voor PET schalen recycling voorlopig ingeschat op 14 tot 16 kton. Het potentiële recyclingrendement zal dan stijgen van 35 tot 39% naar 38% tot 42%.

⁶ Beschreven op basis van persoonlijke communicatie met recyclers.

5 Conclusie

EU richtlijn 94/62/EG regelt het beheer van verpakkingen en verpakkingsafval, en bevat doelstellingen voor het recyclingrendement van de lidstaten. Deze richtlijn wordt gewijzigd, en deze wijziging is beschreven in EU richtlijn 2018/852. Door deze wijziging verschuift het meetmoment in de recyclingketen voor de bepaling van de hoeveelheid gerecyclede kunststofverpakkingsafval van sorteerproduct naar gewassen maalgoed. Dit heeft effect op het door Nederland gerapporteerde recyclingrendement.

Op basis van modelberekeningen is ingeschat dat het gerapporteerde recyclingrendement van kunststofverpakkingsafval na invoering van de nieuwe EU richtlijn zal dalen van de huidige 50% naar zo'n 35 tot 39%, uitgaande van gelijkblijvende omstandigheden. Deze daling wordt veroorzaakt doordat later in het recyclingproces wordt gemeten. Hierdoor worden materiaalverliezen die optreden tijdens mechanische recycling van kunststofverpakkingen en het gewicht aan vocht en vuil in de verpakkingen niet meer meegenomen in het gewicht gerecyclede kunststoffen. Er wordt dus alleen meegenomen welke kunststoffen daadwerkelijk worden gerecyclede naar nieuwe producten en daarmee is het dus een zuiverder manier van meten, die als effect heeft dat het recyclingrendement lager uitvalt. Er moeten dus meer kunststofverpakkingen worden gerecyclede om de doelstellingen te behalen.

De keuze van het recyclingproces bepaalt het uiteindelijke recyclingrendement. Er zijn processen met hogere rendementen en processen met lagere rendementen. En ook processen met een betere kwaliteit eindproduct en processen met een lagere kwaliteit eindproduct. De keuze voor een andere uitvoeringswijze van het recyclingproces kan dus andere recyclaten opleveren, die anders worden toegepast. Het is onduidelijk of alle recyclaten die worden verwerkt in een product kunnen worden meegeteld in de hoeveelheid gerecyclede materiaal, of dat er onderscheid moet worden gemaakt in het type toepassing van de recyclaten. Voornamelijk bij de recyclaten van lagere kwaliteit is dit de vraag. De in dit rapport gerapporteerde hoeveelheid gerecyclede kunststof kan dus in de praktijk afwijken. Dit zal afhangen van de uitvoeringswijzen van de recyclingprocessen, de toepassing die gekozen wordt voor de recyclaten en de exacte definitie van herbewerking tot producten, materialen of stoffen. Opgemerkt moet worden dat deze voorbehouden over de 'kwaliteit van de recycling' voor de Nederlandse en Duitse kunststofrecyclers in steeds mindere mate spelen. Onze kunststofmarkt tendeeft toch steeds meer naar de productie van meer zuivere gerecyclede kunststoffen met een bredere toepasbaarheid. In deze gevallen zal het dus vooral gaan om het al dan niet meetellen van de bijproducten uit deze recyclingprocessen in de hoeveelheid gerecyclede kunststof.

Woordenlijst

DKR specificaties: door DKR vastgestelde normen voor de kwaliteit en zuiverheid van de sorteerproducten. <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads.html>

Drijvend product/drijffracctie: De fractie van het maalgoed dat tijdens drijf/zink-scheiden zal drijven.

Gewassen maalgoed: Versnipperd, gewassen en gedroogd kunststofmateriaal uit mechanische recycling. Voor sommige bedrijven is dit een eindproduct dat ze verhandelen met andere bedrijven, voor andere recyclingbedrijven is dit een halffabricaat dat ze in het eigen bedrijf verder verwerken tot granulaten of eindproducten.

Ingezameld product: De kunststofverpakkingen die door gemeenten worden ingezameld. Afhankelijk van het inzamelportfolio van de gemeente kan er worden beoogd: alleen kunststofverpakkingen, of kunststofverpakkingen en drankenkartons of kunststofverpakkingen, drankenkartons en metaalverpakkingen.

Nat-mechanische recycling: Met nat-mechanische recycling worden de volgende processtappen bedoeld: malen, wassen, drijf-zink scheiden, drogen. Het resultaat hiervan is schoon en droog gewassen maalgoed.

NIR-sorteermachines: Sorteermachines die worden gebruikt in het sorteerbeidrijf om kunststofverpakkingen op materiaalsoort te sorteren.

Overdrachtscoëfficiënten: Het percentage van een materiaal dat bij een processtap in een bepaald product terecht gaat komen. Bijvoorbeeld voor de processtap drijf/zink-scheiding is het het materiaalgehalte dat zal zinken en/of drijven. Deze coëfficiënten worden experimenteel bepaald.

Sorteerproduct: De gesorteerde kunststofverpakkingen in balen opgeleverd door het sorteerbeidrijf. Deze sorteerproducten moeten voldoen aan de DKR-specificaties en worden verhandeld met recyclers die dit materiaal verder verwerken.

Zinkend product/zinkfracctie: De fractie van het maalgoed dat tijdens drijf/zink-scheiden zal zinken.

Referenties

- 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>
- Brouwer, et al., *under review*. Predictive model for the Dutch post-consumer lightweight packaging collection & recycling system in 2017: impact of collection portfolio expansion. *NOT YET PUBLISHED*
- Europees Parlement, 1994, Raad van de Europese Unie, Richtlijn 94/62/EG van het Europees Parlement en de Raad van 20 december 1994 betreffende verpakking en verpakkingsafval, ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/1994/62/oj>
- Europees Parlement, 2008, RICHTLIJN 2008/98/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen, ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- European Commission, 2019, Commission implementing decision, Handeling bij richtlijn 94/62/EG, conceptversie ontvangen op 15 februari 2019 van Tjeerd Meester. Document LS _ ACT final_CLEAN.docx met annex ANNEX finalbisCLEAN.docx
- Langen, M., 2018. Red flag design – ein software tool zur Auslegung und Bewertung von Recyclingprozessen. Conference presentation, VDI Fachkonferenz „Recycling von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen“, Wien 12-13 September 2018.
- Nedvang en VNG, Uitvoerings- en monitoringprotocol verpakkingen 3.0, <http://www.umpverpakkingen.nl/ump-verpakkingen>, geraadpleegd op 1-3-2019
- Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2018, Monitoring Verpakkingen Resultaten inzameling en recycling 2017
- Stichting Afvalfonds Verpakkingen, 2019, data ontvangen van Stichting Afvalfonds Verpakkingen, per mail op 23-1-2019
- Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T., Molenveld, K., 2016, Technical quality of rPET that can be obtained from Dutch PET bottles that have been collected, sorted and mechanically recycled in different manners. ISBN: 978-94-6257-723-7, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/392306>
- Thoden van Velzen, E.U., 2017, Recyclingopties voor PET schalen, DOI: <https://doi.org/10.18174/419818>
- Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T., Picuno, C., 2018a. Verbeteropties voor de recycling van huishoudelijke kunststof-verpakkingen, WFBR report 1823, May 31st 2018, <http://edepot.wur.nl/450447>
- Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T., Huremovic, D., 2018b, Sorting protocol for packaging wastes

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Food & Biobased Research
Bornerse Weiland 9
6708 WG Wageningen
www.wur.nl/wfbr
info.wfbr@wur.nl

Rapport 1923

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



Verkenning effect verschuiven meetpunt recycling kunststofverpakkingen

M.T. Brouwer, I.W. Smeding en E.U. Thoden van Velzen