Potentie voor de recycling van aluminiumverpakkingen eind 2020

Studie naar de mogelijkheden voor de recycling van aluminiumverpakkingen en verwante consumentenartikelen in Nederland eind 2020

E.U. Thoden van Velzen, I.W. Smeding

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Potentie voor de recycling van aluminiumverpakkingen eind 2020

Studie naar de mogelijkheden voor de recycling van aluminiumverpakkingen en verwante consumentenartikelen in Nederland eind 2020

Auteurs: E.U. Thoden van Velzen, I.W. Smeding

Instituut: Wageningen Food & Biobased Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food & Biobased Research in opdracht van en gefinancierd door Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland (projectnummer 6229101500).

Wageningen Food & Biobased Research
Wageningen, juni 2020

Openbaar

Rapport 2060
ISBN 978-94-6395-447-1

Versie: definitief
Reviewer: Wouter Post
Goedgekeurd door: Arie van der Bent
Opdrachtgever: Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland
Financier: Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/525699/> of op www.wur.nl/wfbr (onder publicaties).

© 2020 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. 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
	Summary	5
1	Inleiding	6
1.1	Onderzoeksvraag en doel	6
1.2	Veranderende regelgeving	7
1.3	Afbakening	7
1.4	Definities	9
2	Materiaal en methoden	10
2.1	Inzichten uit de wetenschappelijke literatuur	10
2.2	Meetgegevens die betrekking hebben op de recente Nederlandse situatie	13
2.3	Wijze van modellering	14
2.4	Stapsgewijze aanpak voor het model van eind 2020	15
2.5	Modelvariant met statiegeld op drankbussen	16
3	Resultaten	17
3.1	Structuur van het materiaalstroommodel	17
3.2	Keuze meetmoment volgens de nieuwe EU richtlijn	19
3.3	Analyse situatie eind 2020	19
3.3.1	Extrapolatie afval-hoeveelheden voor 2020	19
3.3.2	Materiaalstroomanalyse eind 2020 met best beschikbare technologie	21
3.3.3	Modelvariant met statiegeld op drankbussen	23
4	Discussie	26
4.1	Vergelijking van de recyclingpercentages	26
4.2	Betrouwbaarheid van de uitkomsten	26
5	Conclusies	29
	Literatuur	30
	Afkortingenlijst	32
Bijlage 1	Aanvullende databronnen	33
Bijlage 2	Aluminiumgehalte per object categorie	40
Bijlage 3	Controleberekening 2017	41

Samenvatting

Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland (RAVN) heeft Wageningen Food & Biobased Research gevraagd een beeld te schetsen van hoe de recycling van aluminiumverpakkingen er eind 2020 in Nederland uit zou kunnen zien. Doel van de studie is het recyclingpercentage te bepalen van aluminiumverpakkingen en aanverwante artikelen in het geval alle betrokkenen bij de inzameling, sortering en recycling gebruik maken van de meest optimale technologieën die momenteel beschikbaar zijn en worden toegepast. Hierbij wordt uitgegaan van de nieuwste rekenregels van de Europese Unie voor het berekenen van recyclingpercentages.

Dit rapport beschrijft aan de hand van een materiaalstroommodel de inzamel- en recyclingketen van aluminiumverpakkingen en verwante consumentenartikelen (zoals bijvoorbeeld aluminium huishoudfolie) in Nederland. In dit model worden alle relevante inzamel- en recyclingketens beschreven: dit zijn de bodemas-route, de gescheiden inzamelroute met PMD (plastic, metaal en drankkartons) en de nascheiding-route. Van elke deelstap zijn zoveel mogelijk openbare gegevens verzameld. Voor ontbrekende gegevens zijn beargumenteerde veronderstellingen gedaan. Vervolgens is dit model getoetst met de informatie over 2017; hieruit bleek dat het model de hoeveelheid uit bodemas teruggewonnen non-Ferro-metalen goed kon voorspellen. Vervolgens is berekend hoeveel aluminium er in Nederland in 2020 gerecycled zou kunnen worden in het geval dat alle betrokkenen de meest optimale technologieën zouden implementeren. Hieruit bleek dat dit recyclingpercentage 83 à 85% kan bedragen, op basis van de nieuwe EU rekenregels. Een uitgevoerde gevoeligheidsanalyse laat zien dat de modeluitkomsten, zoals verwacht, beïnvloed worden door de keuze van de basisparameters en veronderstellingen. Een stijging van het oxidatieverlies in de afvalverbrandingsinstallaties met 10% laat bijvoorbeeld het recyclingpercentage met 5% dalen, terwijl een andere wijze van het verwerken van mengkunststoffen (waarin ook een kleine hoeveelheid aluminium zit) leidt tot een daling van het recyclingpercentage met 7%. Daar staat tegenover dat in het geval de politiek zou besluiten tot de invoering van statiegeld op drankbussen, het recyclingpercentage kan stijgen tot 88 à 92%. Kortom, dit model laat zien dat hoge recyclingpercentages voor aluminiumverpakkingen kunnen worden behaald en dat het hiervoor belangrijk is dat de betrokkenen inderdaad de beste en reeds nu al beschikbare technologieën omarmen en invoeren.

Summary

Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland (RAVN) has asked Wageningen Food & Biobased Research to investigate the recycling of aluminium packages and related consumer articles by the end of 2020 in the Netherlands. Aim is to estimate – based on best available technologies – the maximum possible recycling rate for aluminium packages and related consumer articles that can be obtained by the end of 2020. The new EU calculation method for the recycling percentage will be used.

This report describes the flow of aluminium packages and related consumer articles (like for instance aluminium foil) through the Netherlands with a material flow analysis model. This model describes all relevant collection and recycling pathways. Three pathways are relevant: the recovery from bottom ashes of waste incineration plants, the separate collection of light-weight packaging waste (locally abbreviated as PMD) and the mechanical recovery of metals from mixed municipal solid waste. For every step in these recycling pathways data was collected. For lacking data substantiated assumptions were made. This model was validated with data of 2017. The model predicted the amount of recovered non-Ferro metals from the bottom ashes of Dutch waste incineration plants correctly. This model was used to predict how much aluminium could be recycled in the Netherlands in 2020 in case all incumbents would implement the best available technologies. The resulting calculated recycling rate is 83 to 85% based on the new EU calculation method. A sensitivity analysis of this model showed that, as expected, the final results are sensitive for the selection of base parameters and assumptions. A ten percent increase in oxidation loss at the incineration plant would for instance cause the recycling rate to drop with 5%. Whereas a different method for the recycling of mixed plastics (in which small shares of aluminium are present) would lower the recycling rate with 7%. Conversely, in case the Dutch government would demand that beverage cans are added to the existing deposit refund systems, the recycling rate increases to 88 to 92%. In short, this model proves that high recycling rates can be attained for aluminium in the Netherlands in case the incumbents would implement the best available technologies.

1 Inleiding

1.1 Onderzoeksvraag en doel

Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland (RAVN) behartigt de belangen van de producenten van aluminiumverpakkingen in Nederland. Zij streeft ernaar de recycling van aluminium te optimaliseren en informatie hieromtrent breed beschikbaar te maken. RAVN heeft Wageningen Food & Biobased Research gevraagd een beeld te schetsen van hoe de recycling van aluminiumverpakkingen er eind 2020 in Nederland uit zou kunnen zien. Doel is om op basis van de best beschikbare technologieën het maximaal mogelijke recyclingpercentage voor aluminiumverpakkingen en verwante gebruiksvoorwerpen te bepalen. Onder deze doelstelling ligt dus de impliciete veronderstelling dat alle betrokken partijen in de keten zich hiervoor maximaal inspannen. Dit lijkt een ogenschijnlijk eenvoudige onderzoeksvraag, maar dat is het niet. Een factor die het ingewikkeld maakt, is dat aluminiumverpakkingen met meerdere afvalstromen worden ingezameld en op verschillende manieren gerecycled worden. Veel van deze recyclingroutes zijn echter nog niet wetenschappelijk beschreven. Een tweede complicerende factor is dat er naast aluminiumverpakkingen ook vergelijkbare consumentenartikelen bestaan die formeel geen verpakkingen zijn (niet afdracht-plichtig zijn aan het Afvalfonds) zoals huishoud-aluminiumfolie, eenmalig bruikbare barbecueschalen, etc. Toch komen beide soorten artikelen in verschillende massaverhoudingen in alle recyclingroutes voor en zijn daarom relevant voor de berekening van het aluminium recyclingpercentage. Een derde complicerende factor is dat de Nederlandse metaalrecycling-ketens nog niet eerder wetenschappelijk beschreven zijn, wel is er veel internationale wetenschappelijke literatuur over delen van de aluminiumrecyclingketen.

Het doel van dit rapport is om een zo compleet en gedetailleerd mogelijk beeld te geven van de recycling van aluminiumverpakkingen en verwante gebruiksartikelen in Nederland eind 2020 op basis van de best beschikbare technologieën die nu reeds in Nederland en de omliggende landen worden toegepast. De vraag is dus expliciet niet wat er feitelijk gebeurt, maar wat er zou kunnen gebeuren met toepassing van de best beschikbare technologie en maximale inspanning van de betrokken partijen. Hieruit kan het maximaal haalbare recyclingpercentage worden afgeleid, met dien verstande dat er nog meer geavanceerde terugwinningstechnologieën zijn ontwikkeld maar dat die nu nog niet worden toegepast en derhalve in deze studie buiten beschouwing worden gelaten. Een extra onderzoeksvraag is welk effect een eventuele invoering van statiegeld op blikjes heeft op het maximaal haalbare recyclingpercentage.

RAVN is de opdrachtgever en financier van dit onderzoek. Dit rapport is zowel intern gereviewd als in conceptvorm gedeeld met opdrachtgevers en belanghebbenden ter controle van de feiten met als doel een zo accuraat mogelijk beeld van de recyclingketens te schetsen. Het onderzoek is onafhankelijk uitgevoerd door medewerkers van Wageningen Food & Biobased Research in 2020. Het rapport is bedoeld voor een breed publiek van geïnteresseerden in de recycling van aluminiumverpakkingen in Nederland.

1.2 Veranderende regelgeving

Nederland rapporteert ieder jaar het recyclingpercentage voor alle verpakkingsmaterialen aan de Europese Unie. De Europese Unie heeft voor alle verpakkingsmaterialen doelstellingen hiervoor vastgesteld. EU richtlijn 94/62/EG beschrijft welke doelstellingen moeten worden bereikt door de lidstaten met betrekking tot het terugwinnen en recyclen van verpakkingsafval. De richtlijn voor het bepalen van dit recyclingpercentage is recent gewijzigd. Deze wijziging is beschreven in EU richtlijn 2018/852 en verder uitgewerkt in uitvoeringsbesluit EU 2019/665. Door deze wijziging verschuift het meetmoment in de recyclingketen voor de bepaling van de hoeveelheid gerecycled verpakkingsafval. In de huidige regelgeving varieert de methode van het bepalen van het recyclingpercentage met het materiaal en terugwinnings- of recyclingmethode. Het nieuwe uitvoeringsbesluit streeft er zoveel mogelijk naar om het recyclingpercentage vast te stellen op basis van het gewicht aan verpakkingsmateriaal dat een recyclingproces wordt ingebracht. Doorgaans komt dit er op neer dat het meetmoment hierdoor verschuift naar later in de recyclingketen. Het nieuwe uitvoeringsbesluit heeft dus invloed op de door Nederland gerapporteerde recyclingpercentages voor de verschillende verpakkingsmaterialen.

Dus ook voor het berekenen van de recyclingpercentages voor metaalverpakkingen gaat er veel veranderen, ook voor Nederland. Het meest in het oog springende verschil is dat vanaf 2021 er weer recyclingpercentages voor beide verpakkingsmetaalsoorten (staal en aluminium) apart zullen moeten worden gerapporteerd. In dit rapport zullen we zo goed mogelijk de voorschriften van de nieuwe rekenregels volgen.

1.3 Afbakening

De begrenzing van de recyclingketens in dit rapport loopt van de bedrijven die verpakte producten op de markt brengen tot aan de smelterij waar secundair aluminium wordt geproduceerd, vaak in de vorm van ingots (ook wel broodjes genaamd). Een ingot is een standaardhoeveelheid metaal, gegoten in een standaardvorm zoals een staaf of een blok, om verder verwerkt te worden.

Recyclingroutes

De recyclingketens van aluminium die worden beschouwd in dit rapport zijn:

- Bodemas-route: Terugwinning van aluminium uit bodemas van afvalverbrandingsinstallaties (AVI) waar restafval wordt verbrand,
- PMD-route: Gescheiden inzameling samen met kunststof en drankenkartons,
- Nascheiding-route: Terugwinning van metalen uit restafvalstromen,
- Alle alternatieve inzamelroutes waarvan betrouwbare gegevens kunnen worden verzameld en die wezenlijk relevant zijn / kunnen gaan worden (metaal handel, klein chemisch afval, veegafval van de gemeenten (zwerfafval), statiegeld)

Ten aanzien van de alternatieve inzamelroutes volgde uit een verkenning van informatie hierover dat via de oud-metaalhandel voornamelijk de zogenoemde logistieke hulpmiddelen worden ingezameld. Navraag bij betrokkenen leerde dat deze logistieke hulpmiddelen van metaal (gascilinders, glasbokken) hoofdzakelijk van staal en niet van aluminium zijn gemaakt en daarmee niet relevant zijn voor deze studie.

Van het klein chemisch afval (KCA) zijn weinig openbare gegevens. Volgens CBS-Statline werd er in 2018 22 kton KCA ingezameld in Nederland. De samenstelling hiervan is niet openbaar beschikbaar. Volgens Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) werd in 2015 6 kton metaalverpakkingen (bruto gewicht dus met productresten) met het KCA ingezameld [ILT 2017], waarvan het overgrote deel verblikken. Verblikken zijn van staal. Het gewicht aan aluminium spuitbussen die met het KCA worden ingezameld is onbekend. Deze spuitbussen worden gecontroleerd verwerkt in de AVI en uit de bodemassen worden de metalen teruggewonnen. Daarom veronderstellen we voor deze analyse dat deze onbekende hoeveelheid spuitbussen worden meegerekend in de bodemas-route.

CBS Statline registreert de totale hoeveelheid gemeentelijk veegafval in Nederland, dit was 221 kton in 2018. Het zwerfafval komt hier deels in terecht. Er zijn geen betrouwbare gegevens beschikbaar van de samenstelling van Nederlands zwerfafval, dus kan er ook geen betrouwbare schatting worden gemaakt van het gewicht aan drankbussen dat via deze route wordt ingezameld. Omdat dit materiaal uiteindelijk in de AVI belandt, wordt voor deze studie verondersteld dat dit materiaal gewoon met het restafval mee-ingezameld en verbrand wordt.

De optie van het invoeren van statiegeld op drankbussen is onderwerp van politieke besluitvorming en zal eind 2020 nog niet ingevoerd zijn. Wel zal als separaat scenario de consequentie van deze invoering op de materiaalstromen in beeld worden gebracht, uitgaande van de situatie eind 2020.

Aluminium artikelen

RAVN verzocht om deze studie niet alleen te richten op aluminium consumptieartikelen die formeel als verpakking worden beschouwd (en daarmee afdracht-plichtig zijn aan het Afvalfonds), maar ook op gelijkaardige huishoudelijke gebruiksartikelen als aluminiumfolie, eenmalig bruikbare barbecueschalen en koffiecapsules die formeel niet als verpakking worden beschouwd. Hieronder volgt een opsomming van de objecten die in deze studie worden betrokken (Tabel 1) en ook de artikelen die niet meegenomen zijn, omdat ze bij een andere materiaalcategorie zijn ingedeeld (Tabel 2).

Tabel 1 Aluminium artikelen die in deze analyse worden meegenomen.

Artikel	Verpakking?	Toelichting
Drankbussen	Ja	
Spuitbussen / Aerosol-cans	Ja	
Schalen / maaltijdschalen	Bijna altijd	behalve wegwerp-barbecueschalen
Potten en blikken (handcrème etc.)	Ja	
Huishoudfolie (proppen)	Nee	
Sluitfolie slagroombekers, top-lids, boterfolie	Ja	
Tubes (mayonaise, mosterd, verf)	Ja	
Theelichten	Ja	
Koffiecapsules	Nee	
Doppen en sluitingen (component van een wijnfles etc.)	Ja	
Laminaatfolie met massief aluminium	Ja	
Restcategorie met speelgoed, elektronica, bouw materiaal etc.	Nee	

Tabel 2 Artikelen waarin aluminium als component voorkomt en die niet worden meegenomen in deze analyse.

Artikel	Verpakking?
Verpakkingsfolie met opgedampt aluminium (geregistreerd naar hoofdmateriaal bij kunststofverpakkingen)	Ja
Doordrukstrips (geregistreerd naar hoofdmateriaal bij kunststofverpakkingen)	Ja
Drankkartons (aparte materiaalcategorie)	Ja

De artikelen die niet worden meegenomen in deze studie zijn samengestelde verpakkingen waarin het massa-aandeel aluminium gering is ten opzichte van andere materialen. Volgens de rekenregels van het uitvoeringsbesluit 2019/665 moeten deze samengestelde verpakkingen worden meegenomen in het berekenen van recyclingpercentages in het geval het massa-aandeel meer dan 5% bedraagt.

Aangezien dit voor geen van deze artikelen het geval is, worden ze ook niet meegenomen in deze analyse. Immers bij verpakingsfolie met opgedampt aluminium is het massa-gehalte aluminium ver onder de 1%. Bij doordrukstrips is het aluminium-gehalte rond de 2% (bij een aluminiumfolielaagdikte van 6 μm en een PVC dikte van rond de 200 μm). De medische verpakkingen met een massieve aluminiumlaag, zoals o.a. voor enkele zepillen gangbaar is, worden meegerekend met de laminaatfolieverpakkingen die in tabel 1 staan. Voor Nederlandse drankenkartons is gemiddeld genomen het netto-massagehalte aan aluminium zo'n 2,4% en daarom wordt deze categorie nu niet apart meegerekend [Thoden van Velzen et al. 2013].

1.4 Definities

Hieronder worden de definities gegeven van enkele belangrijke begrippen die in dit rapport gebruikt worden.

Nuttige toepassing

Elke handeling met als voornaamste resultaat dat afvalstoffen een nuttig doel dienen door hetzij in de betrokken installatie, hetzij in de ruimere economie andere materialen te vervangen die anders voor een specifieke functie zouden zijn gebruikt, of waardoor de afvalstof voor die functie wordt klaargemaakt. Volgens de kaderrichtlijn afvalstoffen [Richtlijn 2008/98/EG] het artikel 3.15.

Recycling

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 energierugwinning, noch het opnieuw bewerken tot materialen die bestemd zijn om te worden gebruikt als brandstof of als opvulmateriaal. Volgens de kaderrichtlijn afvalstoffen [Richtlijn 2008/98/EG] het artikel 3.17.

Verpakking / niet-verpakking

Een verpakking is een object dat als voornaamste doel heeft een product te omsluiten en/of te beschermen. Een verpakking wordt vol gekocht en ledig verwijderd. Elk artikel dat hier niet aan voldoet is een niet-verpakking, dit kunnen heel veel verschillende artikelen zijn zoals: bouwmaterialen, speelgoed, decoratiematerialen, etc. Voorbeelden van aluminium niet-verpakkingen zijn huishoud-aluminiumfolie, eenmalig bruikbare barbecueschalen, koffiecapsules, aluminium tentharingen, etc.

Omdat de meeste aluminiumschalen formeel verpakkingen zijn en men vaak in het afvalstadium niet meer vast kan stellen of een schaal een verpakking was of juist een eenmalig bruikbare barbecueschaal, worden doorgaans alle schalen bij sorteeranalyses tot de verpakkingen gerekend.

2 Materiaal en methoden

Het materiaalstroommodel voor aluminium-artikelen is gebaseerd op inzichten uit de internationale literatuur en van aanvullende studies. Deze worden in de komende twee paragrafen eerst samengevat alvorens de opbouw van het model verder wordt besproken (in paragraaf 2.3 en 2.4). Tenslotte wordt aangegeven welke modelaanpassingen zijn uitgevoerd om het scenario met een statiegeldsysteem voor drankbussen door te rekenen.

2.1 Inzichten uit de wetenschappelijke literatuur

Er is veel geschreven over de recyclingketens van aluminiumverpakkingen in de internationale wetenschappelijke literatuur. De nadruk ligt op de bodemas-route, er is weinig geschreven over de andere inzamel- & recyclingroutes. Bovendien wordt hierbij het kritische proces verbranden in een Afvalverbrandingsinstallatie (AVI) op verschillende wijzen onderzocht, wat ook verschillende uitkomsten oplevert.

Een overzichtsartikel maakt duidelijk dat er grote verschillen bestaan in Europa ten aanzien van de consumptie van aluminiumverpakkingen en de wijze waarop deze worden ingezameld en gerecycled. Het consumptieniveau varieert tussen 0,8 en 2,7 kg per inwoner per jaar en het gerapporteerde recyclingpercentage varieert tussen 20 en 88%¹. In sommige landen domineren statiegeldsystemen, in andere gescheiden inzamelsystemen en in weer andere de terugwinning uit bodemassen. Bovendien blijkt dat het recyclingpercentage in landen met dezelfde dominante inzamel- of terugwinningssystemen totaal verschillend kan zijn [Warrings & Fellner, 2019].

Literatuur over de bodemas-route

De terugwinning van aluminium uit de bodemassen van AVI's is een belangrijke recyclingroute in Europa. Tijdens het verbranden in een AVI vinden meerdere veranderingen gelijktijdig plaats. Niet-metalen componenten (papier labels, plastic sluitfolie, bedrukking etc.) en productresten verbranden. Aangezien de temperatuurverdeling in AVI's niet gelijkmatig is, smelt het aluminium ook in meer of mindere mate en vormt smeltfasen (smeltpunt 660°C). Er vormt zich een dun oxide-laagje om de gesmolten smeltfasen. Dat oxide-laagje beschermt het metaal voor verdere oxidatie. Vanwege de lage ontbrandingstemperatuur van aluminium zal ook een klein deel ontbranden. Door beweging in de oven (schuivende roosters of draaiende schijven) worden sommige metaaldruppels verder verkleind en het oxide-laagje beschadigt waardoor het metaal toch verder kan oxideren. De verbranding van bedrukking, productresten en naburig afval kan zowel een asachtige laag op het metaal achterlaten en daarmee het vloeibare metaal verder beschermen tegen oxidatie, als de oxidatie juist bespoedigen. Verder kunnen fijne deeltjes van het aluminium meegevoerd worden met de rookgassen en in het vlieggas terechtkomen of zelfs verdampen. De laatstgenoemde verliezen spelen een geringe rol [Stekete & Maltha-Nix 2012]. Ook zal een klein deel van het gesmolten aluminium door de bodemroosters heen vallen en pas tijdens onderhoud verwijderd worden [Stekete & Maltha-Nix 2012]. Nadat de bodemassen uit de oven zijn gevallen, koelen de bodemassen af en stollen de smeltfasen. Het aluminium is nu aanwezig als gestolde druppeltjes van variërende grootte van kleiner dan 1 mm tot enkele centimeters. Een deel van het aluminium is aanwezig in separate smeltfasen en een ander deel is verkleefd of gesinterd aan andere as-deeltjes. Sommige AVI's verwerken de bodemassen direct, andere installaties laten de assen bewust eerst verouderen.

¹ Het gepubliceerde recyclingpercentage van 88% heeft betrekking op Duitsland in 2015 en 2016. Het laatst beschikbare percentage is inmiddels al 90% voor 2018 [DAVR, 2020].

Grofweg zijn er twee opwerkprocessen voor bodemassen: een natte en droge methode. Bij de droge methode worden de bodemassen direct behandeld met een reeks van magneten, Eddy-Current scheidings (ECS) en brekers (maalmolens voor bodemassen), waarbij een reeks Ferro-metaal (staal; magnetisch) en Non-Ferro-metaal producten wordt verkregen met verschillende deeltjesgroottes. Non-Ferro-metaaldeeltjes die kleiner zijn dan 2 mm waren in 2012 nog niet winbaar uit de bodemassen. Bij de natte methode wordt de bodemas gewassen met water. Bodemas is alkalisch waardoor aluminium verder oxideert bij de natte opwerking. Daarna volgt dezelfde opwerking als bij de droge methode.

Tijdens het verbranden treden er dus twee verschillende soorten verliezen op: oxidatieverliezen en terugwinningsverliezen. De gemiddelde oxidatieverliezen van aluminium-objecten bedragen 10 à 20% en de verliezen aan niet-terug-winbaar aluminium uit de bodemassen zijn ruim 10% [Stekete & Maltha-Nix 2012].

De oxidatie-verliezen die optreden bij verbranden van afval zijn op verschillende wijzen onderzocht. Zo rapporteerden Hu et al. al in 2011 de terugwinningsrendementen van aluminiumverpakkingen die in een Nederlandse AVI worden verbrand; 91% voor drankbussen, 85% voor schalen en 77% voor folies [Hu et al. 2011]. Ook onderzochten zij met stookproeven de invloed van verbrandings-omstandigheden op de oxidatie van aluminium-objecten. Deze oxidatie wordt beïnvloed door de oventemperatuur, verblijftijd en aanwezigheid van zouten in het afval.

Stekete et al. deden verbrandingsproeven in een Nederlandse AVI waarbij het huisvuil werd verrijkt met drankbussen, schalen of folieproppen. Zij konden 67% van het aluminium uit de drankbussen, 76% uit de schalen en 94% uit de folieproppen terugwinnen [Stekete & Maltha-Nix 2012].

Biganzoli meldt in 2014 dat analyses van Italiaanse AVI's uitwijzen dat daar slechts zo'n 21 à 23% van het aanwezige aluminium kan worden teruggewonnen uit het bodemas. Een deel van het aluminium oxideert en een deel is aanwezig in de fijne fractie van de bodemassen en kan niet worden afgescheiden. Een beschrijving van de samenstelling van het ingaande afval ontbreekt, veel aluminium zou aanwezig zijn in de vorm van folie en laminaatfolie [Biganzoli et al., 2014]. Uit experimenten met metalen kooien die door de oven worden gevoerd blijkt dat de vorm en wanddikte van de aluminiumverpakking een grote invloed heeft op het terugwinningspercentage. Voor drankbussen is dit 81%, schalen 51% en een mengsel van laminaatfolies 27% [Biganzoli et al., 2013]. Later kwam er kritiek op deze studie omdat de metalen kooi zich langzamer door de oven voortbewoog dan het normale afval waardoor de verblijftijd langer was en de terugwinningsrendementen onderschattingen zijn.

Lopez bestudeerde het gedrag van aluminium-houdende verpakkingen in een oven bij 850°C onder een atmosfeer van 6% zuurstof en concludeerde dat de kunststof en papieren delen verbranden en dat alleen het aluminium resteert. Van het aluminium product oxideert een klein deel tot een beschermende oxidelaag. Hoe dunner de aluminiumverpakking hoe meer oxidatieverlies, wel bleef het oxidatieverlies beperkt tot maximaal 17% [Lopez et al., 2015].

De terugwinning van metalen uit bodemassen van AVI's met verschillende natte en droge processen is uitgebreid geanalyseerd en technisch gemodelleerd [Huber, 2020]. De inzet van meerdere brekers (specifieke maalmolens voor bodemassen), magneten en ECS-scheidingsmachines kan de terugwinning verhogen. Toch kunnen niet alle metalen uit de bodemassen worden teruggewonnen. Bovendien wordt de resterende bodemas zo fijn dat deze niet meer als mineraal aggregaat kan worden verkocht.

Gedetailleerde materiaalstroomanalyses op nationaal niveau

Warrings en Fellner presenteren in 2018 een complete materiaalstroom-analyse van Oostenrijk, compleet met alle verliezen van elke ketenstap. Zo'n 10% van het aluminium gaat verloren als oxidatieverlies, zo'n 33% van het aluminium is niet terug-winbaar uit de bodemassen (aanwezig in de fijne fractie) en zo'n 16% gaat verloren bij de nascheiding van het restafval. De verliezen van aluminium naar het vliegas worden op 0,5% geschat en de zout-slak/dross-verliezen (dit zijn de verliezen die optreden bij de smelterij) worden op 1% geschat.

Ook zij vinden een duidelijke relatie tussen de dikte van aluminiumverpakkingen en de terugwinningsefficiëntie, met de hoogste rendementen voor drankbussen en de laagste voor laminaatfolies. Het overall recyclingpercentage voor Oostenrijk bedraagt 39% [Warrings & Fellner, 2018]. Van Caneghem et al. rapporteren een gedetailleerde materiaalstroomanalyse voor metaalverpakkingen in Vlaanderen en berekenen een recyclingpercentage van overall 62% [Van Caneghem et al. 2019].

Literatuur over andere processtappen in de aluminium-verwerking

Het omsmelten van aluminium drankbussen met en zonder drossing flux is onderzocht. Drossing flux verhoogt het bruto-smeltrendement (nettogewicht aluminiumproduct gedeeld door brutogewicht ingaande drankbussen) iets: van circa 53 naar 57%. Een deel van het aluminium wordt met de zout-slakken verwijderd. Bovendien verandert de elementaire samenstelling tijdens het omsmelten, waarbij een deel van het magnesium verloren gaat [Risonarta 2019].

Pichat et al. onderzochten de verwerking van gescheiden ingezamelde drankbussen tot secundair aluminium in een draaitrommel-oven door eerst de bussen te de-coaten (verhitten waarbij de coating en bedrukking verbranden) gevolgd door een omsmeltstap. De metaal-opbrengst werd in sterke mate beïnvloed door de gekozen temperaturen en de gassamenstelling in de oven. Er konden metaalopbrengsten van meer dan 95% worden bereikt [Pichat et al. 2020].

Een Australische onderzoeksgroep onderzocht de pyrolyse van zuivere metaal-kunststoflaminaatfolies met een aandeel van 30% aluminium. De Australiërs verkregen een schoon aluminiumproduct met een metaalrendement van nagenoeg 100%, een teerachtig bijproduct en brandbare gassen die ze gebruikten om de reactor te stoken [Yin et al., 2019]

De opwerking van gebruikte koffiecapsules is ook uitgebreid onderzocht. Door eerst de koffieresten te verwijderen, te de-coaten en daarna om te smelten konden er metaalopbrengsten van 86% worden behaald [Gökelme et al., 2020].

Reflectie op de internationale literatuur

Betrokkenen bij afvalverbrandingsinstallaties en leveranciers van ECS (Eddy current sorting)-systemen geven aan dat de belangrijkste verliezen in de inzamel- en recyclingketen van aluminium in Nederland optreden bij het verbranden in de AVI's (oxidatieverlies) en bij de terugwinning uit de bodemassen (verlies aan niet-terug-winbaar fijn metallisch aluminium). Heel veel factoren hebben invloed op die verliezen, zoals oventemperatuur, zuurstofspanning, ovenontwerp en de bewegingen in die oven (schuivende roosters of draaiende schijven), aard van de rest van het afval en de wijze van bodemas-terugwinning (droog of nat). Hiervan is nog lang niet alles begrepen. Wel onderschrijven de betrokkenen enkele algemene punten:

- Er is een ingewikkelde relatie tussen objectvorm, wanddikte en terugwinningsrendement, omdat niet alleen de vorm van het oorspronkelijke object belangrijk is, maar ook de vorm waarin het in het afval aanwezig is. Immers bij de meeste proeven worden hogere terugwinningsrendementen gevonden voor de objecten met grotere wanddiktes (drankbussen, schalen versus folies), maar bij foliepropen was het terugwinningsrendement juist heel hoog.
- Bij langere verblijftijden in de oven is het terugwinningsrendement lager.
- Bij meer beweging in de oven worden de smeltfasen kleiner en het terugwinningsrendement lager.
- Natte bodemas-opwerking leidt tot lagere terugwinningsrendementen voor aluminium dan een droge bodemas-opwerking.
- Er is nog geen duidelijke relatie gevonden tussen de omvang van de oorspronkelijke objecten en de deeltjesgrootte-verdeling van de smeltfasen verkregen uit AVI's.

Verder valt aan de literatuur op dat er veel aandacht is voor de recyclingroute via bodemas, maar slechts beperkte informatie is over de recyclingroutes via gescheiden inzameling en nascheiding.

2.2 Meetgegevens die betrekking hebben op de recente Nederlandse situatie

Naast de in paragraaf 2.1 besproken openbare bronnen zijn er aanvullende meetgegevens en analyses beschikbaar die verkregen zijn uit contractonderzoek voor RAVN en JDE en die met WFBR gedeeld werden omwille van dit onderzoek. Tabel 3 geeft een lijst van de aanvullende informatie / analyses die gebruikt zijn in dit onderzoek. Relevante gegevens hieruit staan vermeld in bijlage 1.

Tabel 3 *Aanvullende bronnen met meetgegevens en analyses.*

Onderzoek	Instituut, jaartal, klant	Bijlage
Samenstelling PMD ten aanzien van aluminium-objecten	WFBR, 2017, RAVN	Bijlage 1.1
Samenstelling sorteerproducten gemaakt van PMD	WFBR, 2017, RAVN	Bijlage 1.2
Rendementen van pyrolyse aluminium-objecten bij Pyral	WFBR, 2017, RAVN	Bijlage 1.3
Samenstelling nascheiding-producten gemaakt uit Nederlands restafval ten aanzien van aluminium-objecten	WFBR, 2018, RAVN	Bijlage 1.4
Technische procesanalyse van de nascheiding van aluminium-objecten	HTP, 2018, RAVN	Bijlage 1.5
Technische procesanalyse van de sortering van PMD ten aanzien van aluminium-objecten	HTP, 2018, RAVN	Bijlage 1.6
Terugwinning van koffiecapsules uit bodemas	Tauw, 2019, JDE	Bijlage 1.7

Herkomst van de verdere data

Behoudens de wetenschappelijke literatuur (paragraaf 2.1) en de aanvullende meetgegevens (paragraaf 2.2) is er nog van een aantal andere openbare bronnen gebruikt gemaakt. Deze staan samengevat in de onderstaande Tabel 4.

Tabel 4 *Diverse gebruikte gegevens uit openbare bronnen.*

Parameter	Waarde(n)	Bron
Hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval in Nederland	3086 kton in 2017 2944 kton in 2018	CBS-Statline
Hoeveelheid gescheiden ingezameld PMD in Nederland	254 kton in 2017 301 kton in 2018	CBS Statline
Totale hoeveelheid bedrijfsmatig afval dat in Nederland verbrand wordt	2773 kton in 2017	Rijkswaterstaat 2018
Hoeveelheid geïmporteerd afval dat in Nederland verbrand wordt	1910 kton in 2017	Rijkswaterstaat 2018
Hoeveelheid geëxporteerd huisvuil dat elders verbrand wordt	66 kton in 2018	CBS Statline (som Achterhoekse gemeenten)
Nascheiding-capaciteit	277 kton huisvuil in 2017 1445 kton maximaal eind 2020	Opgaven capaciteit nascheiders
Gehalte non-Ferrometalen in huishoudelijk restafval	1,40% totaal	Rijkswaterstaat 2017
Hoeveelheid non-Ferrometaal dat teruggewonnen wordt uit de bodemassen van Nederlandse AVI's	29 kton als 'schoon metaal' (+)	Rijkswaterstaat 2018
Hoeveelheid geproduceerd sorteersproduct MIX	66 kton uit PMD in 2017 21 kton uit nascheiding in 2017	Brouwer et al. 2019

+ : met schoon metaal wordt bedoeld, de hoeveelheid zuivere non-Ferrometalen die metaal-opwerkers uit de bodemassen hebben afgescheiden.

2.3 Wijze van modellering

Het model wordt opgebouwd volgens de werkwijze van 'material flow analysis' en met hulp van het softwareprogramma STAN doorgerekend [Stan, 2012]. Tevens levert dit programma de visualisatie van de resultaten in stroombeelden. De twee systeemgrenzen van het model zijn: 1) het op de markt komen van de aluminium-artikelen en 2) de geproduceerde ingots (output van de smelterij). Binnen deze systeemgrenzen vinden activiteiten plaats als inzamelen, sorteren, bodemas-terugwinning etc.. Deze activiteiten worden beschreven met overdrachtscoëfficiënten. Tussen de activiteiten stromen materiaalstromen die worden beschreven in termen van een totale hoeveelheid en een samenstelling. Voor elke materiaalstroom wordt gekeken of er gegevens beschikbaar zijn van de omvang van de materiaalstroom en van de samenstelling hiervan – dit gebeurt tot op artikel niveau, zie Tabel 1. Vervolgens worden voor elke activiteit overdrachtscoëfficiënten gezocht in de literatuur. Ook dit gebeurt op artikel niveau. Vervolgens worden de onbekende materiaalstromen en overdrachtscoëfficiënten berekend uit materiaalstromen en overdrachtscoëfficiënten die wel bekend zijn tot er een volledige materiaalstroomanalyse uit volgt.

Ondanks het feit dat er veel gegevens bekend zijn van aluminiumverpakkingen op de verschillende plaatsen in het recyclingnetwerk, zijn er ook een groot aantal onbekenden. Enkele basis-parameters (hoeveelheden op de markt gebracht en verdeling tussen huishoudelijk en bedrijfsmatig gebruik) konden alleen worden ingeschat door een combinatie van informatie van betrokkenen en de samenstellingsgegevens van materiaalstromen. Andere ontbrekende gegevens konden ruw worden ingeschat met gegevens van vergelijkbare keten-elementen.

Controleberekening voor 2017

Om de opzet van het model en enkele aannames te toetsen, is eerst een controleberekening voor het jaar 2017 gemaakt. Betrokkenen gaven aan dat twee gegevens voor het jaar 2017 een hoge zekerheid kennen in het hele systeem, namelijk de totale hoeveelheid op de markt gebracht aluminium en de totale hoeveelheid teruggewonnen schoon non-Ferro-metaal uit bodemas. Op basis van deze gegevens werd er eerst een model-controle uitgevoerd, zie bijlage 3. Hieruit bleek dat het materiaalstroomschema voor 2017 kloppend kon worden gemaakt als er in het geïmporteerde restafval nauwelijks aluminium aanwezig was. Bovendien bevestigde deze controle-berekening dat de overdrachtscoëfficiënten goed waren ingeschat. Ze waren in ieder geval niet te hoog, want dan zou er minder non-Ferro-metaal zijn teruggewonnen uit het bodemas.

Ondanks dat deze controleberekening bevestigde dat de gekozen overdrachtscoëfficiënten in het materiaalstroommodel in het algemeen redelijk kloppen, blijft het materiaalstroommodel een inschatting van de werkelijkheid. De uitkomsten van het model op het niveau van geproduceerde hoeveelheid ingots kunnen weliswaar met een beperkte onzekerheid worden voorspeld, maar de onzekerheid is groter voor de onderlinge bijdrage van de verschillende verpakkingstypes. De modelresultaten moeten dus vooral als een best mogelijk inschatting worden gezien. Voor een analyse met een hoger niveau van betrouwbaarheid zullen er aanzienlijk meer monsters van de verschillende deelstromen in detail moeten worden onderzocht.

Berekening recyclingpercentages volgens uitvoeringsbesluit EU 2019/665

In bijlage II van uitvoeringsbesluit EU 2019/665 staat beschreven dat het nieuwe berekeningspunt het gewicht aan gesorteerd metaal is dat geen verdere verwerking ondergaat alvorens een smelterij of oven in te gaan. Dit betekent dus dat de ingaande massastromen bij de secundaire smelterij maatgevend zijn en dat dross-verliezen niet in rekening hoeven te worden gebracht. Deze productstromen bevatten nog steeds een geringe hoeveelheid aanhangend vocht, vuil en niet metalen componenten.

Volgens artikel 1.5a van het uitvoeringsbesluit moet er een correctie voor het vochtgehalte van deze stromen plaatsvinden. Dit is lastig, omdat dit vochtgehalte in deze stromen onbekend is, maar dit gehalte zal in de praktijk laag zijn omdat er anders een gevaarlijke situatie ontstaat bij het omsmelten.

Voor het aanhangend vuil en andere niet-metalen componenten is het uitvoeringsbesluit complex. In artikel 1.7.6 quater.1.a staat namelijk dat niet-doelmaterialen meegeteld mogen worden met het gerecyclede gewicht in het geval hun aanwezigheid toegestaan is. Dit geldt echter volgens artikel 1.7.6 quater.1.f niet voor materiaal dat niet afkomstig is van verpakkingen, zoals afval van hetzelfde materiaal dat samen met het verpakkingsafval is ingezameld en residuen van producten die zich in de gebruikte verpakking bevonden. Niet-doelmaterialen mogen dus wel worden meegerekend in de hoeveelheid gerecyclede verpakkingsmateriaal wanneer ze afkomstig zijn van verpakkingen, maar niet worden meegerekend wanneer ze afkomstig zijn van niet-verpakkingen. Dit onderscheid kan echter niet gemaakt worden op basis van de beschikbare gegevens. Wat wel kan, is een "bruto" percentage (inclusief alle vocht en vuil) en een "netto" percentage (exclusief alle vocht en vuil) berekenen. Vanwege de complexiteit van dit uitvoeringsbesluit zal het recyclingrendement met en zonder deze correctieposten worden berekend.

2.4 Stapsgewijze aanpak voor het model van eind 2020

Hieronder wordt de volgorde van de berekeningen geschetst die doorlopen zijn om het model voor eind 2020 zo goed mogelijk te beschrijven.

1. De verwachte afvalhoeveelheden voor 2020 werden deels verkregen door extrapolatie, zover als dat mogelijk was; dit betrof de hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval en de hoeveelheid gescheiden ingezameld PMD.
2. Voor het PMD sorteerproces en het nascheiding-proces werden de overdrachtscoëfficiënten van het betere proces (Proces 1) genomen (bijlagen 1.5 en 1.6).
3. De nascheiding-capaciteit werd maximaal uitgebreid, oftewel er werd verondersteld dat alle nascheiding-installaties ook aluminium gaan nascheiden.
4. Gesteld werd dat de huishoudens hun aluminium artikelen op de juiste wijze zouden afdanken. Leidend hierbij is dat grofweg 80% van de Nederlandse bevolking aangesloten is bij een gescheiden inzamelsysteem voor PMD en van 20% van de bevolking wordt het restafval nagescheiden (afgeleid uit de systeemkeuzes van gemeenten en hun bevolkingsomvang).
 - a. Voor 80% van de bevolking die aangesloten is bij een PMD inzamelsysteem werd verondersteld dat de participatiegraad 100% zal zijn en het scheidingspercentage 90% zal zijn voor de vormvaste en grote aluminium-objecten en 50% voor flexibele en kleine aluminium-objecten. Deze scheidingspercentages zijn afgeleid van die voor kunststofverpakkingen in PMD zijn gemeten in 2017 [Thoden van Velzen et al., 2019].
 - b. Voor 20% van de bevolking waarvan het restafval wordt nagescheiden, wordt verondersteld dat alle aluminium-objecten naar de nascheiding-installatie zullen gaan.
 - c. De niet-gescheiden ingezamelde aluminium-objecten worden verdeeld over de Nederlandse AVI's, nascheiders en de buitenlandse AVI's naar rato van hoeveel gemengd huishoudelijk restafval daar verwerkt wordt. Hierbij wordt dus rekening gehouden met de situatie dat er in Nederland gemeenten zijn die zowel gescheiden inzameling van PMD materiaal aanbieden als het gemengde huishoudelijke restafval laten nascheiden.
5. Als best beschikbare technologie voor het verwerken van mengkunststof (dit is vaak de grootste en meest heterogene sorteerfractie) wordt niet voor mechanisch recyclen gekozen, waarbij de aanwezige aluminium artikelen via het zinkgoed naar de cementovens gaan, maar voor pyrolyse. Dit laatste vindt nu plaats bij Renasci in Oostende (België) en is voor de aanwezige aluminium-artikelen in ieder geval de best beschikbare technologie. Immers bij verbranding in cementovens oxideert het aluminium en is er eerder sprake van nuttige toepassing dan van recycling. Terwijl bij pyrolyse het aluminium als metaal wordt teruggewonnen en kan worden gerecycled. De toekomst zal uit moeten wijzen of pyrolyse ook voor de kunststofartikelen in dit sorteerproduct een geschikte recyclingwijze is en of deze technologie inderdaad in Nederland op grote schaal ook toegepast gaat worden voor de verwerking van mengkunststof.

2.5 Modelvariant met statiegeld op drankbussen

In deze studie wordt een additionele onderzoeksvraag beantwoord, namelijk welk effect het invoeren van een statiegeldsysteem op drankbussen (blikjes) zal hebben op de massastromen. Hiervoor werd het model voor eind 2020 aangepast op een beperkt aantal plaatsen. Om een inschatting te kunnen maken van de invloed van de invoering van een dergelijk retoursysteem, moeten er van twee grootheden schattingen worden gemaakt: de dekkinggraad en het retourpercentage.

Met de dekkinggraad wordt bedoeld de breedte van de statiegeldplicht. Dit is 100% als dit voor alle soorten drankbussen zou gelden. Waarschijnlijker is het dat er voor bepaalde dranken uitzonderingen worden gemaakt, dit is namelijk nu ook het geval voor de grote PET flessen en de glazen bierflessen. Deze dekkinggraad is de uitkomst van een politieke keuze en nu onbekend. Vermoedelijk zal deze ruim gekozen worden, daarom worden er berekeningen met dekkinggraden van 80, 90 en 100% uitgevoerd.

De tweede belangrijke parameter is het toekomstige retourpercentage. Ook dit is onbekend. In deze studie worden de effecten van een drietal retourpercentages op de recyclingpercentages verkend: 85, 90 en 95%. Hiermee wordt dus bedoeld de hoeveelheid drankbussen die in de toekomst via een telcentrum worden ingezameld en van daaruit naar secundaire smelterijen zouden worden gestuurd. Dit retourpercentage heeft zowel betrekking op de drankbussen die geconsumeerd en afgedankt worden bij de huishoudens als bij bedrijven.

3 Resultaten

3.1 Structuur van het materiaalstroommodel

Aluminiumverpakkingen stromen op een ingewikkelde wijze via verschillende routes door onze maatschappij. In dit onderzoek worden de volgende recyclingroutes gemodelleerd:

- Bodemas-route: Terugwinning van aluminium uit bodemas van afvalverbrandingsinstallaties waar restafval wordt verbrand,
- PMD-route: Gescheiden inzameling samen met kunststof en drankenkartons en
- Nascheiding-route: Terugwinning van metalen uit restafvalstromen.

De recyclingroutes zijn schematisch weergegeven in Figuur 1. De op de Nederlandse markt gebrachte aluminiumverpakkingen worden deels binnen huishoudens en deels binnen bedrijven gebruikt en afgedankt in verschillende afvalstromen. Een deel van de huishoudelijke aluminiumverpakkingen wordt gescheiden ingezameld met PMD, een ander deel nagescheiden uit het restafval, een klein deel wordt geëxporteerd naar het buitenland en een deel wordt verbrand met huishoudelijk gemengde restafval. Bij de verbrandingsinstallatie (AVI) wordt dit huishoudelijk gemengde restafval gecombineerd met bedrijfsmatige afvalstromen en het geïmporteerde restafval. Al deze soorten restafval worden gezamenlijk verbrand. Uit de bodemassen hiervan wordt aluminium teruggewonnen dat via enkele stappen wordt omgezet in omgesmolten ingots van secundair aluminium. Ook het meeste aluminium dat via PMD wordt ingezameld of via nascheiding wordt teruggewonnen wordt via enkele bewerkingsstappen omgezet in ingots van secundair aluminium.

Een klein deel van het aluminium zal niet terechtkomen in de beoogde sorteerproducten, maar als verontreiniging in de verschillende kunststof-sorteerproducten. Dit deel zal worden verwijderd tijdens de recycling en terechtkomen in het zinkgoed of het smeltfilterresidu. Beide reject-stromen worden uiteindelijk verbrand in AVI's zodat we deze kleine deelstromen niet apart modelleren, maar combineren met de sorteerresten die direct naar de AVI's gaan.

Een ander klein deel van het aluminium uit PMD en nascheiding zal terechtkomen in het sorteerproduct Mix (mengkunststof: DKR² 350). Dit wordt nu nog voor het grootste deel verwerkt door mengkunststof-recyclingbedrijven tot relatief grote objecten. Dit is vanuit het perspectief van aluminium-recycling niet de best beschikbare technologie. Inmiddels is Renasci in België begonnen met het pyrolyseren van het sorteerproduct Mix. Of dit vanuit het perspectief van de kunststofrecycling optimaal is, valt nog niet te zeggen. Deze Mix-verwerking is vanuit het perspectief van de aluminium-recycling echter wel optimaal omdat het aluminium dan met weinig verlies en relatief schoon uit de asrest kan worden teruggewonnen. Dit is dan ook gekozen als best beschikbare technologie voor de verwerking van Mix eind 2020 en betekent dat het aluminium dat in de Mix terechtkomt, teruggewonnen zal worden uit de pyrolyse-asresten en vervolgens naar de smelterijen zal stromen.

Een overzicht van de structuur van het materiaalstroomschema wordt in Figuur 1 gegeven.

² DKR specificaties zijn standaarden voor kwaliteit en zuiverheid van sorteerproducten, zoals vastgesteld door DKR <https://www.gruener-punkt.de/de/downloads.html>

Figuur 1 Structuur van het materiaalstroomschema voor eind 2020.

Het gemodelleerde materiaalstroomschema is ondanks dat het nog steeds ingewikkeld is, toch een behoorlijke vereenvoudiging van de werkelijkheid, maar als zodanig toch goed geschikt voor het beoogde doel van deze studie. Immers de uitstroom naar zwerfafval en alternatieve inzamelsystemen als klein chemisch afval (KCA) worden buiten beschouwing gelaten, omdat dit materiaal soms met een omweg toch weer in verbrandingsinstallaties terecht zal komen. Ook zal een deel van het aluminium bij nascheiden en PMD sorteren in andere productstromen terechtkomen dan Non-Ferro (NF) en MIX. Zoals hierboven al besproken worden deze kleine stromen in dit model gecombineerd met de sorteerresten en nascheiding-resten die direct naar de AVI gaan.

Dit vereenvoudigde materiaalstroom-model kent acht verliesstromen, waarbij aluminium verloren gaat, namelijk:

- FV1: oxidatieverliezen bij de AVI's,
- FV2: verliezen aan niet winbaar aluminium bij de bodemas-opwerkers,
- FV3: verliezen bij het mechanisch opwerken van de bodemas-NF-concentraten,
- FV4: dross-verliezen bij de secundaire smelterijen,
- FV5: verliezen bij het mechanisch opwerken van de nagescheiden NF-concentraten,
- FV6: verliezen bij het mechanisch opwerken van de NF-concentraten uit PMD,
- FV7: verliezen bij de pyrolyse van nagescheiden Mix,
- FV8: verliezen bij de pyrolyse van Mix uit PMD.

3.2 Keuze meetmoment volgens de nieuwe EU richtlijn

Volgens bijlage II van uitvoeringsbesluit 2019/665 is het nieuwe meetpunt voor het recyclingpercentage van metalen verpakkingen het gesorteerde product dat geen verdere verwerking ondergaat alvorens het een smelterij of oven ingaat. Dit komt overeen met de (bruto) materiaalstromen F14, F16, F19, F21 en F23 in Figuur 4. Dit betekent dus dat de smelt- en dross-verliezen (FV4) die optreden bij de secundaire smelterij (B9) buiten beschouwing kunnen worden gelaten om het recyclingpercentage uit te rekenen volgens de nieuwe EU richtlijn. Aangezien volgens het uitvoeringsbesluit een deel van het vocht en vuilgehalte mag worden meegerekend, voor de berekening van het gerecyclede gewicht, zie paragraaf 2.3, zullen zowel de netto- als de bruto gewichten gepresenteerd worden.

3.3 Analyse situatie eind 2020

Voor het opstellen van het materiaalstroommodel voor aluminiumverpakkingen en vergelijkbare objecten in 2020 is het nodig om de afvalhoeveelheden in 2020 af te schatten. Hiervoor is extrapolatie de meest geëigende methode, ondanks dat het jaar 2020 een afwijkend jaar zal gaan worden door het coronavirus en het veranderde consumptiepatroon en afdankgedrag. In paragraaf 3.3.1 zullen de extrapolaties voor de afvalhoeveelheden in 2020 worden besproken.

3.3.1 Extrapolatie afval-hoeveelheden voor 2020

Het CBS registreert de hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval dat in Nederland wordt ingezameld. Deze hoeveelheid volgt al jaren een dalende trend, zie Figuur 2. Deze trend blijkt nagenoeg lineair in de tijd te zijn. Als de door CBS Statline geregistreerde hoeveelheden van 2010 tot en met 2018 worden geanalyseerd, kan deze worden beschreven met een rechte lijn met een correlatiecoëfficiënt van $r^2 = 0,98$, zie Vergelijking 1.

$$HHRA = (-112000 \pm 6000) \times \text{Jaartal} + (229 \pm 12) \times 10^6 \left[\frac{\text{ton}}{\text{jaar}} \right]$$

Vergelijking 1: De hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval (HHRA) per jaar als functie van het jaar.

Met deze vergelijking kan de hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval in 2020 worden afgeschat als 2760 ± 200 kton. Dit is stroom F4 in het model.

Figuur 2 Extrapolatie van de hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval in Nederland. De blauwe blokken zijn de door CBS Statline geregistreerde hoeveelheden. De rode stippellijn is de regressieanalyse.

Ook de hoeveelheid gescheiden ingezameld PMD materiaal kan voor 2020 worden ingeschat middels extrapolatie. Wel zijn er maar van vier jaren (2015-2018) redelijk betrouwbare inzamelhoeveelheden beschikbaar, want in de voorgaande jaren (2009-2014) werd er door verschillende gemeenten nog alleen kunststofverpakkingsafval ingezameld. De door CBS geregistreerde hoeveelheden en het wiskundig wortelverband er tussen staan afgebeeld in Figuur 3 en Vergelijking 2.

Figuur 3 Extrapolatie van de hoeveelheid gescheiden ingezameld PMD materiaal van de Nederlandse gemeenten. De groene punten geven de door CBS Statline geregistreerde hoeveelheden en de rode stippellijn geeft het wiskundig verband.

Regressieanalyse van de vier punten levert een wortel-verband op met een correlatiecoëfficiënt r^2 van 0,99, zoals beschreven in Vergelijking 2. Meerdere belanghebbenden gaven echter aan dat de hoeveelheid ingezameld PMD materiaal na 2018 niet meer stijgt en misschien zelfs gaat dalen. Dit houdt verband met de keuze voor nascheiding in West-Nederlandse gemeenten. Zodoende hebben wij gekozen om de hoeveelheid ingezameld PMD in 2020 constant te houden aan die in 2018, namelijk 301 kton. Dit is stroom F7 in het model.

$$PMD = \sqrt{((27500 \pm 900) \times jaartal) - (55 \pm 2) \times 10^6} \left[\frac{kton}{jaar} \right]$$

Vergelijking 2 De in Nederland gescheiden ingezamelde hoeveelheid PMD als functie van het jaartal tussen 2015 en 2018.

De andere afvalhoeveelheden voor 2020 zijn veel lastiger in te schatten omdat er geen duidelijke reeksen van bestaan. De hoeveelheid geëxporteerd huishoudelijk restafval is met 10% gereduceerd ten opzichte van 2017, omdat het ingezamelde huishoudelijke restafval ook daalt. De bruto hoeveelheid bedrijfsmatig afval dat verbrand wordt in Nederland (stroom F8 in het model) is constant gehouden ten opzichte van 2017. Wel is de hoeveelheid aluminium in dit bedrijfsmatige afval door het model zelf aangepast op basis van de nieuwe hoeveelheden die op de markt zijn gebracht. De hoeveelheid geïmporteerd restafval is voor het model eind 2020 op nul gezet. In werkelijkheid zal er wel materiaal worden geïmporteerd, maar de hoeveelheid is zo klein en daarmee niet relevant voor het model en berekende recyclingpercentages. Bovendien was er al erg weinig aluminium in deze stroom aanwezig (zie bijlage 3) en is de verwachting dat de omvang van deze stroom sterk zal reduceren als gevolg van het heffen van verbrandingsbelasting.

3.3.2 Materiaalstroomanalyse eind 2020 met best beschikbare technologie

Met deze geëxtrapoleerde en ingeschatte afvalhoeveelheden kon het materiaalstroomschema voor eind 2020 worden opgesteld. Hierbij werden dus bewust de overdrachtscoëfficiënten die behoren bij het beter sorteren van PMD en het beter nascheiden van restafval gekozen, zie bijlage 1.5 en 1.6. Een schematische weergave hiervan staat in Figuur 4. Verder is in Tabel 5 een overzicht gegeven van de ingaande en de uitgaande stromen. Van de uitgaande gewichten worden zowel de netto- als de brutogewichten vermeld. Hieruit zijn de recyclingpercentages berekend. Het totale recyclingpercentage voor aluminium dat in Nederland op de markt is gebracht, is voor eind 2020 83% op basis van nettogewichten en 86% op basis van brutogewichten. Voor alleen de aluminium-verpakkingen bedragen beide recyclingpercentages 83 en 85%. Overigens tellen alleen de uitgaande nettogewichten met de gewichten van de verliesstromen op tot de totale ingaande stromen.

Figuur 4 Materiaalstroomschema voor aluminium in Nederland in eind 2020 met best beschikbare technologie (netto gewichten).

Tabel 5 Belangrijkste resultaten van de materiaalstroomanalyse voor eind 2020 met de best beschikbare technologie, [kton] en de daaruit volgende recyclingpercentages [%]. In dit overzicht staan onder elkaar de ingaande, uitgaande en verliesstromen opgesomd. Van de uitgaande stromen staan zowel de nettogewichten in zwart als de brutogewichten in blauw vermeld. Opgelet: door afronding lijken sommige totalen niet goed op te tellen.

Ingaande stromen	Verpakkingen	Niet-Verpakkingen	Totaal, [kton netto]
Op de Nederlandse markt gebracht (F1)	36,0	5,0	41,0

Uitgaande aluminiumstromen	Verpakkingen	Niet-Verpakkingen	Totaal, [kton netto / kton bruto]
Via bodemas (F14)	11,8 / 12,0	1,5 / 1,6	13,3 / 13,6
Via nascheiding NF (F16)	4,0 / 4,1	0,8 / 0,8	4,9 / 5,0
Via nascheiding MIX (F21)	0,9 / 1,0	0,6 / 0,6	1,5 / 1,6
Via PMD NF (F19)	11,8 / 12,1	0,8 / 0,8	12,6 / 12,9
Via PMD MIX (F23)	1,2 / 1,4	0,6 / 0,6	1,8 / 2,0
Totaal uitgaand	29,8 / 30,6	4,3 / 4,4	34,1 / 35,0

Verliesstromen	Verpakkingen	Niet-Verpakkingen	Totaal, [kton netto]
FV1 Oxidatie in AVI	2,8	0,3	3,1
FV2 Terugwinnen bodemas	2,1	0,3	2,4
FV3 NF opwerken bodemas	0,2	0,0	0,3
FV4 Dross-verlies	0,9	0,1	1,0
FV5 NF opwerken nascheiden	0,2	0,0	0,3
FV6 NF opwerken PMD	0,6	0,0	0,7
FV7 Pyrolyse MIX nascheiden	0,1	0,0	0,1
FV8 Pyrolyse MIX PMD	0,1	0,0	0,1
Totaal verlies	7,0	0,8	7,9

	Verpakkingen	Niet-Verpakkingen	Totaal
Recyclingpercentages, [%]	83-85%	86-89%	83-85%

Uit het massastroomschema met best beschikbare techniek voor eind 2020 blijkt dat 19% van het aluminium via de nascheiding-route wordt teruggewonnen, 42% via de PMD route en 39% via de bodemas-route. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 6.

3.3.3 Modelvariant met statiegeld op drankbussen

De berekening van de massastromen werd herhaald met een aangepast model, drie verschillende dekkingsgraden en drie verschillende retourpercentages, zie Tabel 6. Het model verandert alleen voor de drankbussen. Deze aanpassing heeft een forse invloed op de materiaalstromen, zie Figuur 5. Deze grote invloed van het statiegeldsysteem is niet verwonderlijk omdat drankbussen de belangrijkste aluminium verpakkingsvorm is. Het recyclingpercentage voor alle aluminium artikelen stijgt naar 88 à 91%, afhankelijk van de berekeningswijze met netto of brutogewichten. Voor alleen de aluminium-verpakkingen bedragen deze recyclingpercentages 88 en 92%.

Figuur 5 Materiaalstroomschema (nettogewichten) voor aluminium in Nederland eind 2020 met best beschikbare technologie inclusief statiegeld op drankbussen, uitgerekend met een dekkingsgraad van 90% en een retourpercentage van 95%.

Tabel 6 Belangrijkste resultaten van het model met een statiegeldsysteem op drankbussen waarbij zowel de dekkingsgraad (DKG) als het retourpercentage (RTP) van het statiegeldsysteem werd gevarieerd op drie niveaus. De recyclingpercentages werden zowel met netto als bruto gerecyclede gewichten uitgerekend, voor zowel alleen de aluminium verpakkingen als het totaal.

DKG	RTP	Recyclingpercentages				Verdelingspercentages			
		Netto Verpakkingen	Bruto Verpakkingen	Netto Totaal	Bruto Totaal	Bodemas	PMD	Nascheiding	Statiegeld
80%	85%	88%	91%	88%	91%	24%	27%	13%	36%
90%	85%	88%	91%	88%	91%	23%	26%	13%	38%
100%	85%	88%	91%	88%	91%	23%	24%	12%	41%
80%	90%	88%	91%	88%	91%	23%	26%	13%	37%
90%	90%	88%	91%	88%	91%	23%	25%	12%	40%
100%	90%	88%	92%	88%	91%	23%	23%	12%	42%
80%	95%	88%	91%	88%	91%	23%	26%	13%	38%
90%	95%	88%	92%	88%	91%	23%	24%	12%	41%
100%	95%	88%	92%	88%	91%	23%	22%	12%	43%

De gekozen parameters voor het statiegeldsysteem (dekkingsgraad en retourpercentage) blijken binnen gekozen bandbreedte slechts zeer beperkt invloed te hebben op de berekende einduitkomsten.

Verder zal in dit scenario het grootste deel van het gerecyclede aluminium worden ingezameld via het statiegeldsysteem (36-43%), 23 à 24% via de bodemas-route, 23 à 27 via gescheiden inzameling met PMD en 12 à 13% via nascheiding. Dit wordt schematisch weergegeven in Figuur 6 voor een dekkingsgraad 90% en retourpercentage van 95%.

Figuur 6 Bijdrage van de verschillende routes aan de terugwinning van aluminium. Links het systeem zoals dat eind 2020 er zou kunnen zijn met gebruikmaking van de optimale technologie. Rechts met een statiegeldsysteem met een dekkingsgraad van 90% en een retourpercentage van 95%.

4 Discussie

4.1 Vergelijking van de recyclingpercentages

De recyclingpercentages voor aluminium zijn lager dan het nu door Afvalfonds gerapporteerde recyclingpercentage voor metaalverpakkingen van 95% voor 2018 [Afvalfonds, 2018]. Dit is niet onverwacht omdat het officiële cijfer gebaseerd is op zowel stalen als aluminiumverpakkingen en doordat het Afvalfonds een ander rekenmodel hanteert inclusief logistieke hulpmiddelen. Het recyclingpercentage dat in dit rapport is berekend voor Nederland eind 2020 met de best beschikbare technologie komt uit op 83-85% en is vergelijkbaar met de officieel gerapporteerde recyclingpercentages van Duitsland (90%) en Zweden (77%) maar wel aanzienlijk hoger dan de meeste andere Europese landen [Warrings en Fellner 2019; DAVR 2020]. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze recyclingpercentages nog volgens de oude rekenregels werden berekend en dat bij toepassing van deze nieuwe regels de recyclingpercentages van deze landen zullen dalen. Daarom kan er beter worden vergeleken met recyclingpercentages die gebaseerd zijn op gedetailleerde materiaalstroomanalyses. Hiervan zijn er helaas maar twee beschikbaar. Deze rapporteerden recyclingpercentages van 39% voor Oostenrijk in 2013 [Warrings & Fellner 2018] en 62% voor Vlaanderen in 2015 [Van Caneghem et al. 2019]. Deze recyclingpercentages zijn aanmerkelijk lager dan de 83-85% die voor Nederland is berekend. Dit heeft meerdere oorzaken:

1. Ten eerste, zijn dit oudere analyses en juist de terugwinning van metalen uit bodemas heeft de laatste jaren een grote ontwikkeling doorgemaakt.
2. Ten tweede is deze analyse gebaseerd op de best beschikbare technologie en niet op de werkelijk toegepaste technologie zoals in de gerapporteerde analyses.
3. Ten derde, deze analyse hanteert het meetmoment zoals beschreven in het nieuwe Europese uitvoeringsbesluit, terwijl de andere analyses een later berekeningspunt hanteren en daarmee wel voor dross-verliezen corrigeren.

4.2 Betrouwbaarheid van de uitkomsten

Het materiaalstroomschema voor aluminiumverpakkingen en verwante gebruiksartikelen is opgesteld met best beschikbare gegevens verkregen uit zowel openbare bronnen als uit vertrouwelijke rapportages. Bij het opstellen van dit rekenmodel moest een aantal veronderstellingen worden gemaakt over alternatieve inzamelroutes waarover geen informatie beschikbaar is. Ook moesten er veronderstellingen worden gemaakt rond de keuze van overdrachtscoëfficiënten bij processtappen, waarbij er vaak gegevens beschikbaar waren voor slechts enkele soorten aluminium-artikelen waaruit de coëfficiënten voor de andere soorten objecten moesten worden afgeschat. Bovendien werden er veronderstellingen gedaan bij de verdeling van de totale hoeveelheid aluminium die op de markt wordt gebracht over de verschillende categorieën. Hierdoor is deze analyse een inschattende berekening geworden. Ondanks deze veronderstellingen, bleek uit een controleberekening voor 2017 dat het rekenmodel toch een goede overeenstemming kon vinden tussen de hoeveelheid aluminium die op de markt is gebracht en de hoeveelheid schoon non-Ferro-metaal dat uit de bodemassen werd teruggewonnen. Dit bevestigt in ieder geval dat het model, ondanks de vele veronderstellingen, toch betekenisvolle berekeningen maakt.

Zoals bij elk rekenmodel is ook dit rekenmodel gevoelig voor de precieze waarde van de basisparameters die zijn gebruikt. Om hier beter inzicht in te krijgen is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij enkele van deze parameters systematisch werden gevarieerd. Er werden vijf variaties met andere parameterkeuze doorgerekend, namelijk:

1. Beter scheidingsgedrag van PMD inzamelende burgers. Dit werd geëffectueerd in het model door de scheidingspercentages te verhogen van 50% naar 90% voor een selectie van de aluminium-artikelen (aluminium huishoudfolie, laminaatfolie, sluitfolie en boterfolie, doppen & sluitingen, theelichten, koffiecapsules en niet-verpakkingen) aangezien de scheidingspercentages al 90% waren voor de andere aluminium-artikelen in het oorspronkelijke model.
2. Meer oxidatieverlies. Dit werd geëffectueerd in het model door het percentuele oxidatieverlies te verhogen met 10% voor alle aluminium-artikelen.
3. Meer aluminiumartikelen op de markt. Hiertoe werd de totale hoeveelheid aluminium-artikelen op de Nederlandse markt verhoogd van 41 naar 42 kton.
4. Sorteersproduct Mix wordt niet gepyrolyseerd maar mechanisch gerecycled en het aanwezige aluminium wordt afgezet met de zinkgoed als brandstof aan de cementovens.
5. Het PMD wordt slechter gesorteerd. Hiertoe werden de sorteerverdelingen van het basisproces van HTP genomen (proces 0 in plaats van proces 1 in Tabel 16 van bijlage 1.6).
6. Het PMD wordt beter gesorteerd. Hiertoe werden de sorteerverdelingen van het geavanceerde proces van HTP genomen (proces 2 in plaats van proces 1 in Tabel 16 van bijlage 1.6).

In Tabel 7 zijn vier prestatie-indicatoren weergegeven om de invloed van de zes variaties in parameters te tonen. Het gaat om: recyclingpercentage voor aluminiumverpakkingen berekend met netto gerecyclede gewichten, bijdrage aan de bodemas-route, geproduceerde hoeveelheid ingots en totale verliezen. De prestatie-indicator totale verliezen bleek – procentueel gezien – het gevoeligst te zijn voor variaties in het model, dit was ook wel verwacht aangezien deze indicator de kleinste waarde heeft in het basismodel. Voor de andere prestatie-indicatoren blijven de variaties meestal binnen de 10% van de waarde van het basismodel. De wijze waarop het sorteersproduct Mix wordt afgezet blijkt een grote invloed te hebben op de prestatie-indicatoren. Op dit moment wordt de mengkunststof nog mechanisch gerecycled en zal het daarin aanwezige aluminium dus met het zinkgoed worden afgezet aan cementovens en wordt daarmee niet gerecycled. Dit staat in schril contrast met wat optimaal zou zijn voor de aluminium-artikelen, namelijk pyrolyse, daarmee zou het aluminium dat aanwezig is in de mengkunststof wel worden gerecycled. Dit benadrukt dat het recyclingpercentage dat voor aluminium-artikelen kan worden bereikt, sterk afhankelijk is van de keuzes van andere actoren. Deze hebben echter als primair belang om de recyclingdoelstelling voor kunststof te halen, waarvoor de recyclingdoelstelling voor aluminium voor hen minder belangrijk is.

Tabel 7 Gevoeligheidsanalyse model met vier prestatie-indicatoren en zes variaties in de parameters.

Variatie	Recyclingpercentage aluminium verpakkingen met netto gewichten, [%]	Bijdrage bodemas-route, [%]	Geproduceerde hoeveelheid ingots, [kton/jr]	Totale verliezen, [kton/jr]
Basis 2020	83%	39%	33,01	7,9
1 (beter scheidingsgedrag)	83%	37%	33,35	7,6
2 (hoger oxidatieverlies)	79%	36%	31,49	9,4
3 (1 kton extra op de markt)	82%	40%	33,66	8,2
4 (Mix naar cementovens)	77%	43%	29,84	10,8
5 (PMD slechter sorteren)	82%	43%	32,68	8,2
6 (PMD beter sorteren)	83%	38%	33,12	7,8
Relatieve invloed op uitkomst				
1	0%	-5%	1%	-4%
2	-5%	-8%	-5%	19%
3	-1%	3%	2%	4%
4	-7%	10%	-10%	37%
5	-1%	10%	-1%	4%
6	0%	-3%	0%	-1%

De factor met de op één na grootste invloed op de prestatie-indicatoren was het oxidatieverlies in de AVI. Zowel het oxidatieverlies in de AVI als het verlies aan niet terug-winbaar aluminium uit de bodemassen zijn niet eenvoudig te meten per soort aluminium-artikel in afhankelijkheid van de omstandigheden en instellingen. Deze gekozen parameters kennen dus per definitie een redelijk grote onzekerheid, wat doorwerkt in een onzekerheid in de uitkomsten van het model. Desalniettemin, kon er bij de controleberekening voor 2017 een goede overeenkomst worden gevonden tussen wat het model voorspelt aan hoeveelheid teruggewonnen aluminium uit bodemassen en hetgeen gerapporteerd is. Dit bevestigt dat ondanks de onzekerheid in de factoren per artikel, het overall model toch een redelijk goede inschatting van de materiaalstromen maakt.

De invloed van de sorteerwijze van het PMD is slechts beperkt, alleen als er aanzienlijk minder goed zal worden gesorteerd dan nu gebruikelijk is, gaan de materiaalstromen duidelijk anders verlopen, waardoor er meer verlies zal zijn en meer via de bodemas-route zal worden gerecycled.

5 Conclusies

Een recyclingpercentage van 83 à 85% voor aluminiumverpakkingen in Nederland is haalbaar in 2020 als alle betrokkenen de meest optimale technologieën die momenteel al beschikbaar zijn en in Nederland worden toegepast implementeren. In het geval er een statiegeldsysteem voor drankbussen wordt ingevoerd kan dit recyclingpercentage verder stijgen naar 88 à 92%. Deze recyclingpercentages zijn uitgerekend conform de nieuwe Europese rekenregels met een model van de materiaalstromen van aluminiumverpakkingen en verwante consumentenartikelen door de Nederlandse samenleving. Dit model is ingewikkeld omdat er veel verschillende inzamel- en recyclingketens zijn voor metaalverpakkingen. Daarnaast ontbreekt openbare informatie over onderdelen van deze inzamel- en recyclingketens. Het model werd opgesteld met de openbare informatie die wel beschikbaar was en enkele veronderstellingen. Het model werd getoetst door de openbaar gerapporteerde hoeveelheid uit bodemas teruggewonnen non-Ferro-metaal in 2017 te vergelijken met de door dit model voorspelde hoeveelheid. De overeenkomst was groot, wat de kwaliteit van het model onderbouwde en aangeeft dat de ingeschatte waarden redelijk betrouwbaar zijn. Ook werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waaruit bleek dat parameters als oxidatieverlies in de afvalverbrandingsinstallaties en de keuze voor een andere verwerkingswijze van mengkunststoffen een grote invloed gaat hebben op de modeluitkomsten. Dit laatste laat het recyclingpercentage met zo'n 7% dalen. Dit geeft een verdere onderbouwing dat deze hoge recyclingpercentages inderdaad alleen haalbaar zijn als alle betrokkenen de meest optimale technologie implementeren. Tevens toont deze gevoeligheidsanalyse aan dat in geval niet alle betrokkenen deze technologie implementeren de recycling nog altijd aanzienlijk is.

Literatuur

- Afvalfonds. 2018. Monitoring verpakkingen, resultaten inzameling en recycling 2017.
- Biganzoli L, Grosso M. 2013. Aluminium recovery from waste incineration bottom ash and its oxidation level. *Waste Manage. Res.* 31, 954-959.
- Biganzoli L, Grosso M, Forte F. 2014. Aluminium mass balance in waste incineration and recovery potential from the bottom ash: a case study. *Waste Biomass Valor.* 5, 139-145.
- Brouwer MT, Picuno C, Thoden van Velzen EU, Kuchta K, De Meester S, Ragaert K, "The impact of collection portfolio expansion on key performance indicators of the Dutch recycling system for Post-Consumer Plastic Packaging Waste, a comparison between 2014 and 2017" *Waste Management*, 2019, 100, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.012>.
- Brouwer, MT, Picuno, C, Thoden van Velzen, EU, "The impact of collection portfolio expansion on key performance indicators of the Dutch recycling system for Post-Consumer Plastic Packaging Waste, a comparison between 2014 and 2017", *Mendeley Data*, 2019 v1
<http://dx.doi.org/10.17632/djj6fmbjzs.1#file-a8170be2-de48-4570-9d25-568e6a50a954>
- Caneghem van J, Coster de E, Vandenberghe K, Broyer de S, Lambrix N, Weemaels M. 2019. Closing the household metal packaging cycle through recovery of scrap from waste-to-energy bottom ash: The case study of Flanders. *Resour. Conserv Recycl.* 144, 115-122.
- DAVR website, 2020: <https://www.davr.de/index.php/zahlen-und-statistiken.html> (geraadpleegd op 3 juli 2020).
- Europees Parlement, 2008, Raad van de Europese Unie, Richtlijn **2008/98/EG** van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en intrekking van een aantal richtlijnen. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- Gökelme M, Diaz F, Öner IE, Friedrich B, Tranell G. An assessment of recyclability of used aluminium coffee capsules. In: "Light metals 2020", Tomsett A. (Ed.) Springer Cham 2020, page 1101-1109. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36408-3>
- Hu Y, Bakker MCM, Heij PG. 2011. Recovery and distribution of incinerated aluminium packaging waste. *Waste Manage.* 31, 2422-2430.
- Huber F. 2020. Modelling of material recovery from waste incineration bottom ash. *Waste Manage.* 105, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.034>
- Inspectie Leefomgeving en Transport. 2017. Toezicht recyclenormen Besluit beheer verpakkingen, onderdeel papieren en metalen verpakkingen 2015. Utrecht
- Lopez FA, Roman CP, Garcia-Diaz I, Alguacil FJ. 2015. Oxidation and waste to energy output of aluminium waste packaging during incineration: a laboratory study. *Waste Manage.* 43, 162-167.
- Pichat A, Vassel P, Menet Y, Jouët-Pastre L. 2020. Constellium R&D approach in recycling, from lab to industry. In: "Light metals 2020", Tomsett A. (Ed.) Springer Cham 2020, page 1073-1082. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36408-3>
- Rijkswaterstaat. 2017. Samenstelling van het huishoudelijk restafval, sorteeranalyses 2016. Rijkswaterstaat; Utrecht.
- Rijkswaterstaat. 2018. Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2017. Werkgroep Afvalregistratie; Utrecht.
- Risonarta VY, Anggono J, Suhendra YM, Nugrowibowo S, Jani Y. 2019. Strategy to improve the recycling yield of aluminium cans. *E3S Web of Conferences* 130, 01033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913001033>
- Stan, 2012. Stan2web. <http://www.stan2web.net/> (visited January 2020).
- Stekete J, Maltha-Nix L. 2012. Terugwinning aluminium uit AEC bodemas. Tauw, Deventer, R001-4765977ENI-kwe-V04-NL.
- Tauw. 2019. Terugwinbaarheid aluminium uit koffiecapsules bij afvalverbranding – onderzoek uitgevoerd door Tauw in opdracht van JDE. Presentatie RAVN 30 oktober 2019.
- Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T. Keijsers, E., Jansen, M., Feil, A., Pretz, T. 2013. Pilot beverage carton collection and recycling 2013, concise technical report. Wageningen Food & Biobased Research, Wageningen, report no. 1439, <http://edepot.wur.nl/293556>.
- Thoden van Velzen, E.U., Brouwer, M.T., Feil, A., 2019. Collection behaviour of lightweight packaging waste by individual households and implications for the analysis of collection schemes. *Waste Manage.* 89, 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.021>

-
- Warrings R, Fellner J. 2018. Current status of circularity for aluminum from household waste in Austria. *Waste Manage.* 76, 217-224.
- Warrings R, Fellner J. 2019. Management of Aluminium Packaging Waste in selected European countries. *Waste Manage. Res.* 37, 357-364.
- Yin S, Rajarao R, Gong B, Wang Y, Kong C, Sahajwalla V. 2019. Thermo-delamination of metallised composite plastic: An innovative approach to generate Aluminium from packaging plastic waste. *J. Clean Pro.* 211, 321-329.

Afkortingenlijst

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
DKG	Dekkingsgraad
DKR	DKR specificaties zijn standaarden voor kwaliteit en zuiverheid van sorteerproducten, zoals vastgesteld door DKR https://www.gruener-punkt.de/de/downloads.html
ECS	Eddy-Current Scheider, ook wel wervelstroomscheider
HHRA	Hoeveelheid gemengd huishoudelijk restafval
HK-DK	Nascheiding-concentraat van harde kunststoffen en drankenkartons
KCA	Klein chemisch afval
MIX	Sorteerproduct Mix (DKR-350)
NF	Non-Ferro-metaal product
ONF	Organisch natte fractie (fijngoed van nascheiding)
PMD	Plastic verpakkingen, metalen verpakkingen en drankenkartons
RAVN	Recycling Aluminium Verpakkingen Nederland
RTP	Retourpercentage

Bijlage 1 Aanvullende databronnen

1.1 Samenstelling PMD

In 2017 werd van vijftientig Nederlandse gemeenten gescheiden ingezameld PMD materiaal bemonsterd en geanalyseerd. Deze vijftientig gemeenten waren zoveel mogelijk verschillend in karakter en inzamelsysteem en daarmee voldoende representatief voor PMD inzameling in Nederland. Van een nog grotere groep gemeenten is de overall gemiddelde samenstelling gerapporteerd [Brouwer et al. 2019 Dataset]. De gemiddelde samenstelling ten aanzien van de metalen en de gehalten vocht en vuil zijn samengevat in Tabel 8, de meer gedetailleerde samenstelling naar categorie aluminium-object staat in Tabel 9.

Tabel 8 Samenstelling PMD ten aanzien van de aanwezige hoofdmaterialen en de gemiddelde vocht- en vuilgehalten van de metalen. Gemiddelde van monsters PMD uit tien verschillende gemeenten in 2017.

Metaal	Gemiddeld halte, [%]	Vocht- en vuilgehalte, [%]
Kunststof	66 ± 9	10 ± 3
Drankenkartons	13 ± 4	35 ± 6
Ferro-metalen	5,8 ± 1,4	5 ± 3
Non-Ferro-metalen	2,4 ± 0,9	8 ± 3
Restafval	13 ± 8	-

Tabel 9 Gemiddelde samenstelling van de non-Ferro-metalen naar het soort aluminium objecten.

Categorie Aluminium	Gemiddelde samenstelling in PMD, [%]
Drankbussen	54,4
Aerosols / spuitbussen	11,3
Blikken en potten	4,1
Folieproppen	8,1
Sluitfolie (lids) en boterfolie	1,6
Schalen	6,8
Laminaatfolie	3,7
Doppen en sluitingen	0,3
Tubes	1,5
Theelichten	0,9
Koffiecapsules	2,8
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	4,6
TOTAAL	100

Foto's van deze categorieën aluminium-objecten zijn hieronder toegevoegd, in volgorde van het relatieve voorkomen in PMD, zie Figuur 7.

Figuur 7 Foto's van de aluminium-objekten die in PMD aangetroffen werden in volgorde van voorkomen van boven naar beneden.

1.2 Samenstelling PMD sorteerproducten

Van twee PMD-sorteerinstallaties werden in 2017 monsters genomen van het NF-product (Non-Ferro), mengkunststof, fijne en grove sorteerresten. De materiaalsamenstelling van de NF-producten is gegeven in Tabel 10 en de mede hieruit afgeleide verdelingscoëfficiënten van de objecten over de sorteerproducten (sorting fates) staan in Tabel 11.

Tabel 10 *Gemiddelde samenstelling van het non-Ferro-product van twee sorteerinstallaties die Nederlands PMD sorteren, [%].*

Categorie	Gehalte, [%]
Drankbussen	50 ± 3
Aerosols / spuitbussen	12 ± 3
Blikken en potten	3.3 ± 0.2
Foliepropfen	1.6 ± 0.8
Sluitfolie (lids) en boterfolie	0.7 ± 0.1
Schalen	6 ± 1
Laminaatfolie	4 ± 3
Doppen en sluitingen	0.1 ± 0.1
Tubes	1.0 ± 0.6
Theelichten	0.1 ± 0.1
Koffiecapsules	0.2 ± 0.1
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	5 ± 4
Metaal-lijkende verpakkingen	1.3 ± 0.7
Drankenkartons	4.1 ± 1.2
Ferro-metalen	0.5 ± 0.6
Kunststof	10.3 ± 2.5
Papier en karton	0.9 ± 0.2
Organische en ondefinieerbaar materiaal	0.1 ± 0.1
Textiel	-
Glas	0.1 ± 0.1

Tabel 11 *Verdelingscoëfficiënten van aluminium-objecten over de sorteerproducten bij het sorteren van Nederlands PMD. Gemiddelde van twee installaties.*

Aluminium object	Non-Ferro	MIX	Som van de sorteerresten
Drankbussen	82.5%	13.0%	4.5%
Aerosols / spuitbussen	90.5%	5.0%	4.5%
Blikken en potten	77.0%	19.0%	4.0%
Foliepropfen	25.5%	39.5%	35.0%
Sluitfolie (lids) en boterfolie	22.5%	49.5%	28.0%
Schalen	68.5%	23.0%	8.5%
Laminaatfolie	43.0%	31.5%	25.5%
Doppen en sluitingen	56.5%	32.0%	11.5%
Tubes	85.5%	14.5%	0.0%
Theelichten	12.0%	52.5%	35.5%
Koffiecapsules	22.0%	52.0%	26.0%
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	43.0%	44.0%	13.0%

1.3 Pyrolyse van aluminium objecten

In 2017 werd er een bezoek gebracht aan Pyral in Freiberg. Zes monsters van aluminium-houdend materiaal werden door medewerkers van Pyral gepyroliseerd in twee charges per monster. Onderzoekers in Wageningen berekenden vooraf de verwachte aluminiumconcentratie in het ingaande materiaal en de onderzoekers van Pyral wogen de uitgaande gewichten in tweevoud en stuurden foto's van het materiaal vooraf en na pyrolyse. Hieruit berekenden de onderzoekers in Wageningen de aluminium-rendementen, zie Tabel 12 en Figuur 8.

Tabel 12 De massa- en aluminium-rendementen van pyrolyse-experimenten bij Pyral.

Monster	Geschatte aluminium concentratie in het ingaand materiaal, [%]	Massarendement van pyrolyse, [%]	Aluminiumrendement, [%]
1 Non-Ferro sorteerproduct uit PMD	73 ± 2	71,8 ± 0,3	98 ± 3
2 Non-Ferro sorteerproduct uit PMD zonder restafval	87 ± 2	77 ± 13	89 ± 15
3 Aluminium vormvaste verpakkingen	91 ± 2	86 ± 8	95 ± 9
4 Aluminium folie en laminaat	63 ± 4	49 ± 3	78 ± 6
5 Koffiecapsules met koffierest	14 ± 4	13 ± 5	89 ± 45
6 Koffiecapsules zonder koffierest	76 ± 1	73 ± 5	96 ± 7

Figuur 8 Foto's van het Non-Ferro-sorteerproduct uit PMD voor (links) en na (rechts) pyrolyse.

1.4 Samenstelling nascheiding-producten

In 2018 werden er monsters genomen van vier nascheiding-producten bij een nascheiding-installatie. De gemiddelde samenstellingen zijn te vinden in Tabel 13. De mede hieruit afgeleide samenstelling van huishoudelijk restafval ten aanzien van de metalen objecten staat in Tabel 14.

Tabel 13 *Gemiddelde samenstelling van nascheiding-producten in 2018 in gewichtsprocenten. NF= non-Ferro-metaal product, HK-DK = het concentraat van harde kunststoffen en drankenkartons, ONF = organisch natte fractie [% (m/m)].*

Aluminium object	NF	HK-DK	ONF	Residu
Drankbussen	27,3	0,12	0,23	0,42
Aerosols / spuitbussen	7,4	0	0	0,02
Blikken en potten	2,1	0	0,14	0,04
Foliepropen	1,3	0,06	0,33	0,02
Sluitfolie (lids) en boterfolie	0	0	0,05	0,01
Schalen	12,2	0,11	0,43	0,12
Laminaatfolie	0,5	0,02	0,06	0,24
Doppen en sluitingen	0,02	0	0,19	0
Tubes	0,7	0	0	0
Theelichten	0	0	0,16	0
Koffiecapsules	0	0	0,15	0
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	31,6	0,05	0,01	0,79
Ferro-metaal	2,2	0,08	0,96	0,56

Tabel 14 *Teruggerekende samenstelling van aluminium objecten in het huisvuil.*

Aluminium object	Gehalte in huisvuil, [%]
Drankbussen	0,32
Aerosols / spuitbussen	0,04
Blikken en potten	0,06
Foliepropen	0,11
Sluitfolie (lids) en boterfolie	0,02
Schalen	0,22
Laminaatfolie	0,09
Doppen en sluitingen	0,06
Tubes	0
Theelichten	0,05
Koffiecapsules	0,04
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	0,38

1.5 Technische procesanalyse nascheiding

Het Duitse ingenieursbureau HTP heeft in maart 2019 voor European Aluminium een analyse opgeleverd van nascheiding- en PMD-sorteerprocessen ten aanzien van de terugwinning van aluminiumobjecten uit respectievelijk gemengd huishoudelijk restafval en PMD. Hierbij hebben ze verschillende processen met elkaar vergeleken; van relatief eenvoudig met lage terugwinningsrendementen tot meer ingewikkeld met hoge terugwinningsrendementen.

Voor nascheiding uit gemengd huishoudelijk restafval werden vier processen vergeleken waarvan er twee het meest relevant zijn voor deze studie. Een basisproces 0 met alleen een ECS (Eddy-Current Scheider) op de middenzeef-fractie (60-240 mm) en een iets geavanceerder proces 1 met een ECS zowel op de middenzeef-fractie (60-240 mm) als op de ONF-fractie (<60 mm). De door HTP gemodelleerde terugwinningsrendementen voor enkele verschillende aluminium-objecten staan in Tabel 15. In de HTP studie is ook een verdergaand Proces 2 onderzocht dat nog hogere rendementen oplevert, maar omdat deze technologie in Nederland nog niet wordt toegepast is deze wel in de tabel vermeld maar verder buiten beschouwing gelaten.

Tabel 15 *Gemodelleerde afscheidingsrendementen van aluminium-objecten uit gemengd huishoudelijk restafval naar het non-Ferro-metaal nascheiding-product.*

Aluminium object	Proces 0	Proces 1	Proces 2
Drankbussen	59,6%	85,1%	94,0%
Aerosols / spuitbussen	4,3%	85,0%	94,0%
Blikken en potten	71,6%	84,4%	93,2%
Schalen	63,5%	70,0%	87,3%
Tubes	7,1%	65,6%	86,0%
Doppen, sluitingen en capsules	3,6%	65,3%	86,0%
Folies en folie-gebaseerde verpakkingen	20,1%	39,3%	74,0%
Overall	53,3%	82,4%	92,8%

1.6 Technische procesanalyse PMD sorteren

In de bovengenoemde HTP studie is ook sortering van aluminium-objecten uit o.a. Nederlands PMD naar het non-Ferro-metaal-sorteerproduct gemodelleerd. In het basisproces 0 worden non-Ferrometalen teruggewonnen uit twee zeeffracties (80-200 mm en 200-300 mm) met ECS. In procesvariant 1 wordt ook non-Ferrometaal teruggewonnen uit de fijne zeeffractie (20-80 mm) met ECS. In procesvariant 2 wordt non-Ferrometaal teruggewonnen met ECS en aanvullende met ISS vision-gebaseerde sorteertechnologie. De gemodelleerde sorteerrndementen voor enkele aluminium-objecten van de drie processen staan vermeld in Tabel 16.

Tabel 16 *Gemodelleerde sorteerrndementen van aluminium-objecten uit Nederlands PMD naar het non-Ferrometaal sorteerproduct.*

Aluminium object	Proces 0	Proces 1	Proces 2
Drankbussen	54,8%	92,8%	95,4%
Aerosols / spuitbussen	4,7%	90,2%	98,3%
Blikken en potten	79,9%	93,4%	94,7%
Schalen	74,8%	81,3%	84,3%
Tubes	7,8%	70,8%	93,7%
Doppen, sluitingen & capsules	3,6%	75,8%	93,1%
Folies en folie-gebaseerde verpakkingen	17,2%	33,5%	65,3%
Overall	59,2%	89,9%	94,2%

1.7 Terugwinning koffiecapsules uit bodemas

In 2019 heeft ingenieursbureau Tauw een uitgebreid onderzoek gedaan naar de terugwinningsrendementen van aluminium koffiecapsules uit bodemassen met zogenoemde stookproeven. Op basis hiervan heeft een Tauw een genuanceerde presentatie gedeeld, waarin duidelijk wordt dat het terugwinningsrendement van vele factoren afhankelijk is en dat de meest waarschijnlijke schatting 55% is, maar dat de onzekerheid groot is [Tauw 2019].

Bijlage 2 Aluminiumgehalte per object categorie

Tabel 17 *Schatting van het gemiddelde aluminiumgehalte per categorie aluminium-objecten in het afvalstadium, gebaseerd op afgeronde eigen metingen en inschattingen van belanghebbenden.*

Aluminium object	Gemiddeld aluminiumgehalte per categorie
Drankbussen	100% (+)
Aerosols / spuitbussen	95%
Blikken en potten	100% (+)
Huishoudfolie	100%
Sluitfolie (lids) en boterfolie	20%
Schalen	100%
Laminaatfolie	25%
Doppen en sluitingen	100% (+)
Tubes	90%
Theelichten	90%
Koffiecapsules	8%
Andere non-Ferrometalen en niet-verpakkingen	10%

+: 100% is een afronding. Deze aluminium-artikelen zijn voorzien van bijvoorbeeld coatings en bedrukkingen. De exacte massa-gehaltes hiervan zijn onbekend maar waarschijnlijk onbeduidend ten opzichte van het aluminium, daarom zijn deze gehalten afgerond naar 100%.

Bijlage 3 Controleberekening 2017

Het materiaalstroomschema voor 2017 is op de volgende pagina weergegeven in Figuur 9. Het grootste verschil met het materiaalstroomschema voor eind 2020 is de verwerkingswijze van het sorteerproduct MIX. Een klein deel van het aluminium komt in het sorteerproduct Mengkunststof of Mix (DKR 350) terecht. Het aluminium in de Mix zal voor een groot deel in het zinkgoed terechtkomen, dat verbrand wordt bij cementovens. Hierbij gaat aluminium in de metaalvorm verloren. Wel heeft het aluminiumoxide een positief effect op de kwaliteit van de cement. Dit wordt als een vorm van nuttige toepassing beschouwd.

Figuur 9 Materiaalstroomschema voor aluminiumartikelen in Nederland in 2017.

Hieronder wordt de volgorde van de berekeningen geschetst die doorlopen zijn om het model voor 2017 zo goed mogelijk te checken. De flowcodes die worden genoemd met hoofdletters F corresponderen met dezelfde materiaalstromen als die in Figuur 9 staan uitgebeeld.

1. Samenstelling van het gemengd huishoudelijk afval (F4, F5, F6) ten aanzien van aluminium-objecten werd berekend uit de samenstellingen van de nascheiding-producten, zie bijlage 1.5 en Tabel 14.
2. Hoeveelheden aluminium-objecten die door de Nederlandse huishoudens worden afgedankt (F2) werd berekend door de hoeveelheden aluminium-objecten in het huisvuil op te tellen bij die uit het PMD (bijlage 1.1, Tabel 9). Dit werd op het niveau van netto-metaalgewicht berekend, dus eerst werd het gewichtspercentage aanhangend vocht en vuil afgetrokken en daarna werd een correctie gedaan voor het metaalgehalte per categorie aluminiumobjecten, zie bijlage 2.
3. De hoeveelheden aluminium-objecten op de Nederlandse markt (F1) werden deels afgeschat uit de informatie van RAVN voor 2019 (ca. 16 kton drankbussen, ca. 1.2 kton theelichten, ca. 18.8 kton andere afdracht-plichtige verpakkingen, ca. 3 kton aluminiumfolie, ca. 1 kton aluminium koffiecapsules en ca. 1 kton andere niet-afdracht-plichtige objecten) en deels uit de fijn-verdeling zoals die bij de huishoudens werd aangetroffen. Omdat uit de gegevens van RAVN blijkt dat de totale netto-hoeveelheid aluminiumverpakkingen de laatste jaren met circa 2 kton per jaar stijgt, zijn de hoeveelheden voor 2017 met 4 kton gekort en die korting werd naar rato verdeeld over de categorieën.
4. Uit het verschil tussen de hoeveelheden op de markt gebracht (F1) en door de huishoudens afgedankt (F2) werd de hoeveelheid door bedrijven afgedankt aluminium-artikelen (F3) afgeschat.
 - a. Alleen bij koffiecapsules werd het resultaat van de handelsverdeling consumenten versus bedrijven niet herkend door de betrokken producenten. Volgens hen wordt ongeveer 85% van de capsules aan huishoudens verkocht en 15% aan bedrijven. Deze handelsverdeling werd handmatig gecorrigeerd bij B1.
5. De overdrachtscoëfficiënten van de door huishoudens afgedankte aluminium objecten (F2) naar PMD sorteren (F7), nascheiden (F5), verbranden in het buitenland (F6) en verbranden in binnenlandse AVI's (F4) werd per soort aluminium-object vastgesteld. Allereerst werd de overdrachtscoëfficiënt van de huishoudens naar PMD uitgerekend uit de relatieve netto-hoeveelheden in het PMD ten opzichte van die in het restafval en het PMD. De overblijvende aluminium objecten in het restafval werden naar rato verdeeld over nascheiden, verbranden in binnenland en verbranden in buitenland.
6. Ten aanzien van de door de bedrijven afgedankte aluminium-objecten werd verondersteld dat deze allemaal verbrand worden (F8).
7. De overdrachtscoëfficiënten voor PMD sorteren (B6) en nascheiden (B4) werden uit de gegevens in bijlagen 1.1, 1.2 en 1.4 afgeleid.
8. De overdrachtscoëfficiënten voor het verbranden van aluminium-objecten in Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties (B5) werden zoveel mogelijk verkregen uit de literatuur, die zijn gelijk aan 100% minus de oxidatieverliezen. Drankbussen 91%, Schalen 83% en laminaatfolie 50% uit ref Warrings 2018. Aluminiumfolieproppen 94% uit Tauw 2012. Koffiecapsules 55% uit Tauw 2019. Voor de andere artikelen werden waarden genomen van andere artikelen die hier het meeste op leken. Het gewogen gemiddelde van deze overdrachtscoëfficiënten was 85%.
9. De overdrachtscoëfficiënt voor het bodemas opwerken (B7) werd afgeschat op 85% voor alle objecten. Dit is het metallisch aluminium dat wel kan worden teruggewonnen. Deze waarde is gebaseerd op de opgave van de Vereniging Afvalbedrijven voor 2017.
10. De overdrachtscoëfficiënt bij de metaal-opwerkers (B8) werd op 98% geschat, op advies van betrokkenen die anoniem wensten te blijven.
11. De overdrachtscoëfficiënt bij de secundaire smelterij werd op 3% geschat. Dit zijn de dross-verliezen. Deze waarde is door Warrings gepubliceerd. Enkele betrokkenen suggereerden dat de dross-verliezen hoger kunnen uitvallen, maar hadden geen betere schattingen.
12. De overdrachtscoëfficiënten voor aluminium objecten die nagescheiden en gesorteerd worden (B4) of met PMD gesorteerd worden (B6), worden afgeleid uit de gegevens in de bijlagen en uit publicaties.

13. De overdrachtscoëfficiënten bij het opwerken van het NF-concentraat uit PMD (B11) en nascheiding (B10) zijn onbekend en zover ons bekend nooit onafhankelijk gemeten. Dit kunnen mechanische processen zijn met maalstappen waardoor er metaal verloren moet gaan als maalverlies. Dit verlies wordt op 5% geschat. Alternatief kan het NF-concentraat worden gepyrolyseerd (zie bijlage 1.3) dan is het verlies zeer gering en is 5% een conservatieve schatting.

Met dit model werd een rekenkundige verkenning uitgevoerd naar de samenstelling van het geïmporteerde restafval ten aanzien van aluminium-objecten. Hierbij werd de totale hoeveelheid aluminium in het ingaande geïmporteerde restafval in het model gevarieerd en de hoeveelheid teruggewonnen schoon metaal bij de metaal-opwerkers van de bodemassen (F14) vergeleken met de hoeveelheid schoon metaal dat er volgens de WAR rapportage in 2017 is teruggewonnen uit de bodemassen (29 kton). Hiervan is zo'n 70% aluminium, wat overeenkomt met 20,3 kton. Hierbij werd de veronderstelling gemaakt dat de samenstelling in soorten aluminium-objecten in het geïmporteerde restafval gelijk is aan de samenstelling aluminium-objecten die op de Nederlandse markt gebracht worden.

Het resultaat van deze controle-berekening staat in Figuur 10. Hieruit blijkt dat het geïmporteerde restafval in 2017 slechts 0,1% aluminium bevatte, wat overeenkomt met 1 kton netto (dus gerekend zonder aanhangend vocht en vuil).

Figuur 10 De gemodelleerde relatie tussen het gehalte aan aluminium in het geïmporteerde restafval en de hoeveelheid schoon aluminium dat metaal-opwerkers uit de bodemassen terugwinnen (blauwe punten). Dit was 20,3 kton in 2017 en dus is het geschatte NF-gehalte van het geïmporteerde restafval 0,1%.

Uit dit materiaalstroomschema voor 2017 blijkt dat de bodemas-route destijds het belangrijkste was: 71% ging via de bodemas-route, via PMD 26% en via nascheiding 3%.

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

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

Rapport 2060
ISBN 978-94-6395-447-1

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 12.000 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.