

# RESOURCE EFFICIENCY INDICATORS EN CASE STUDIES

Debaveye Sam, De Meester Steven, Dewulf Jo

Het steunpunt Duurzaam Materialenbeheer brengt zes belangrijke kennisinstellingen samen: KU Leuven, Universiteit Antwerpen, Universiteit Gent, Universiteit Hasselt, HUBrussel en VITO.



Rapportnummer: n° 11

Categorie: Korte termijn opdracht

Leuven, 27 augustus 2014

Gelieve naar deze publicatie te verwijzen als volgt:

Debaveye, S., De Meester, S., Dewulf, J. (2014) Resource efficiency indicators en case studies, Steunpunt Duurzaam Materialenbeheer, Leuven

Voor meer informatie over deze publicatie [steven.demeester@ugent.be](mailto:steven.demeester@ugent.be)

Deze publicatie kwam tot stand met de steun van de Vlaamse Gemeenschap, Programma Steunpunten voor Beleidsrelevant Onderzoek.

In deze publicatie wordt de mening van de auteur weergegeven en niet die van de Vlaamse overheid. De Vlaamse overheid is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de opgenomen gegevens.

Template ontworpen door HIVA - KU Leuven

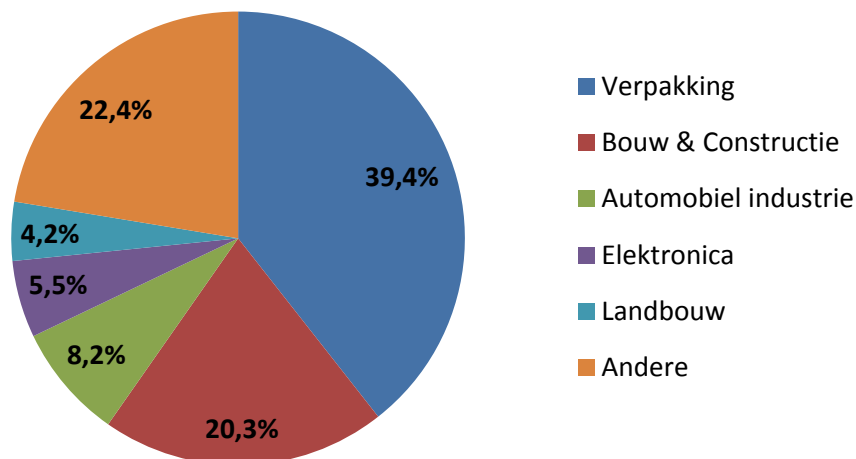
© 2014 STEUNPUNT DUURZAAM MATERIALEN BEHEER, KASTEEL ARENBERG 44, BUS 2450, B-3001 HEVERLEE

# Inhoudstafel

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Doel van het onderzoek</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Materiaal en methoden</b>	<b>4</b>
3.1	Functionele eenheid	4
3.2	Systeemgrenzen	4
3.3	Analyse van de resource efficiency	6
3.3.1	Recyclability benefit rate	7
3.3.2	Energy recoverability benefit rate	8
3.4	Analyse reële scenario's, aangepaste formules en assumpties	9
3.4.1	Analyse reële scenario's	9
3.4.2	Aangepaste formules	10
3.4.3	Assumpties	11
<b>4</b>	<b>Case studies</b>	<b>12</b>
4.1	Ekol 12	
4.1.1	Situering en proces	12
4.1.2	Case specifieke methodologie	13
4.1.3	Resultaten	13
4.1.4	Vergelijking op massabasis	16
4.1.5	Vergelijking op functionaliteit	21
4.2	Galloo	28
4.2.1	Situering en proces	28
4.2.2	Case specifieke methodologie	30
4.2.3	Resultaten	31
4.2.4	Vergelijking op massabasis	32
4.2.5	Vergelijking op functionaliteit	38
<b>5</b>	<b>Besluit</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>47</b>

# 1 Inleiding

Sinds de uitvinding van Bakeliet begin vorige eeuw hebben kunststoffen zich steeds meer geprofileerd in onze maatschappij. Van de jaarlijkse mondiale olie- en gasproductie wordt er 4% verwerkt in kunststoffen waarbij nog eens 4% wordt gebruikt voor het opwekken van energie voor de productie ervan (Hopewell *et al.*, 2009). De Europese kunststofsector is ondertussen uitgegroeid tot een markt waarin meer dan 59.000 bedrijven actief zijn, met een jaaromzet van 300 miljard euro (PlasticsEurope, 2012). De Europese vraag naar plastics bedroeg in 2011 47 Mton per jaar, waarvan de verpakkingindustrie met 39,4% marktaandeel de grootste afnemer was, gevolgd door de bouw & constructiesector (20,3%) en de automobielenindustrie (8,2%) (PlasticsEurope, 2012). Veel plastics vinden hun toepassing in producten die vervaardigd zijn uit verschillende materialen. Dit is bijvoorbeeld het geval in de automobielenindustrie en de elektronica sector.



**Figuur 1: Relatief aandeel van de vraag naar plastics van de verschillende sectoren in Europa.**

De grote vraag naar plastics zorgt jaarlijks voor een aanzienlijke afvalstroom. In 2012 werd er in Europa 25,2 Mton plastic afval geproduceerd, waarvan er 3,2 Mton werd gerecycleerd en 8,6 Mton werd verbrand met het oog op energierecuperatie. Aangezien het recycleren van gemengde materialen moeilijk is, richt de Europese recyclagemarkt zich op de vijf voornaamste categorieën: polyethyleen (PE), polypropyleen (PP), polystyreen (PS), polyvinylchloride (PVC) en polyethyleen tereftalaat (PET), welke tezamen 75% van de vraag naar plastics omvatten (Mudgal *et al.*, 2013).

Van de 25,2 Mton plastic afval is 62% afkomstig uit de verpakkingsector, aangezien veel plastics daar een korte gebruiksfase hebben. De overige sectoren zijn telkens verantwoordelijk voor 5% of minder van de totale hoeveelheid plastic afval (Mudgal *et al.*, 2013).

Gezien in de huidige situatie slechts een beperkte hoeveelheid van het plastic afval gevaloriseerd wordt, is het belangrijk om te zoeken naar alternatieven met betrekking tot afvalverwerking. Het toenemende tekort aan beschikbare grondstoffen zorgt ervoor dat duurzaam afvalbeheer een steeds belangrijkere rol speelt in de levenscyclus van een product. Het bepalen van de efficiëntie van de verschillende methoden om afval te verwerken is daarbij cruciaal. Die efficiëntie kan in kaart gebracht worden door de levenscyclusanalyse. Dit is een onderzoeksmethodologie die de milieu-impact van een product of proces analyseert vanaf het ontginnen van de ruwe grondstoffen, tijdens de verbruiksfase en tot en met de afvalverwerking. Alle nutsvoorzieningen die tijdens de verschillende stappen in het proces verbruikt zijn worden meegeteld in de eindbalans. Op die manier wordt de volledige milieu-impact in kaart gebracht en kan een totaalbeeld gegenereerd worden van eender welk product of proces. De prestatie van dat proces kan dan uitgedrukt worden met verschillende indicatoren, die elk een indicatie geven van de schade aan een bepaald deel van het milieu, de gezondheid van de mens of de verbruik aan grondstoffen. De keuze van de indicator geeft aan waar in de studie de nadruk op wordt gelegd.

## 2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om na te gaan hoe men de grondstoffefficiëntie in de waardeketen kan vergroten door verschillende strategieën van afvalmanagement in de kunststofsector. Dit wordt verwezenlijkt aan de hand van het kader ontwikkeld door (Ardente *et al.*, 2012), waarin gesteld wordt dat er vier mogelijke methoden zijn om een verhoging van grondstoffefficiëntie te verwezenlijken: reductie van het grondstoffengebruik (*Reduction*), hergebruik van de afvalproducten (*Reuse*), recycling van de afvalstoffen (*Recycle*) en energierecuperatie door verbranding (*Recovery*).

Terwijl het reduction principe eerder op de gehele waardeketen gericht is, focussen we in deze studie eerder op de end-of-life fase van kunststoffen. Voor deze materialen is hergebruik quasi altijd onmogelijk aangezien deze vaak in een mix van materialen terechtkomen en specifiek hiervoor ontworpen zijn. Bovendien worden de plastics tijdens de gebruiksfase vaak vervuild of beschadigd waardoor direct hergebruik uitgesloten is. In deze studie wordt gefocust op recyclingprocessen van kunststoffen, waarbij de specifieke doelstelling is na te gaan in hoeverre hiermee kan bespaard worden op grondstoffen. Hiervoor worden twee case studies uitgevoerd, waarbij de besparing op vlak van grondstoffen van een gerecycleerd product tegenover een virgin product wordt berekend. In het kader van het Europese *Resource Efficiency initiative* werden formules ontwikkeld om deze grondstoffenbesparing uit te drukken (Ardente *et al.*, 2012). Als eenheid wordt in deze studie gebruik gemaakt van de *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment* (CEENE), de hoeveelheid natuurlijke grondstoffen die aan het milieu onttrokken worden bij de productie. Het gecombineerde gebruik van enerzijds de formules van Ardente en anderzijds de CEENE maakt het mogelijk om de uitgespaarde natuurlijke grondstoffen bij een recyclingproces te quantificeren.

Plastic afvalverwerkingsbedrijf Ekol, gevestigd in Houthalen-Helchteren, verwerkt alle plastic afval dat niet in de PMD fractie thuis hoort. Dit wordt gerecycleerd in minder kwalitatieve toepassingen, zoals straatmeubilair. Verschillende recyclingproducten van dit bedrijf worden vergeleken met gelijkaardige producten die uit virgin materialen geproduceerd worden.

Algemeen recyclingbedrijf Galloo, gevestigd in Menen, verwerkt en recycleert een heel gamma aan afvalproducten, waarvan voornamelijk elektrisch en elektronisch afval. Uit deze gemengde producten worden de zuivere producten afgescheiden en, na opzuivering, verkocht aan producenten. In deze case wordt de winst aan grondstoffenefficiëntie berekend die behaald wordt bij het vervangen van virgin materiaal door materialen die door Galloo worden gerecycleerd bij de productie van een stofzuiger.

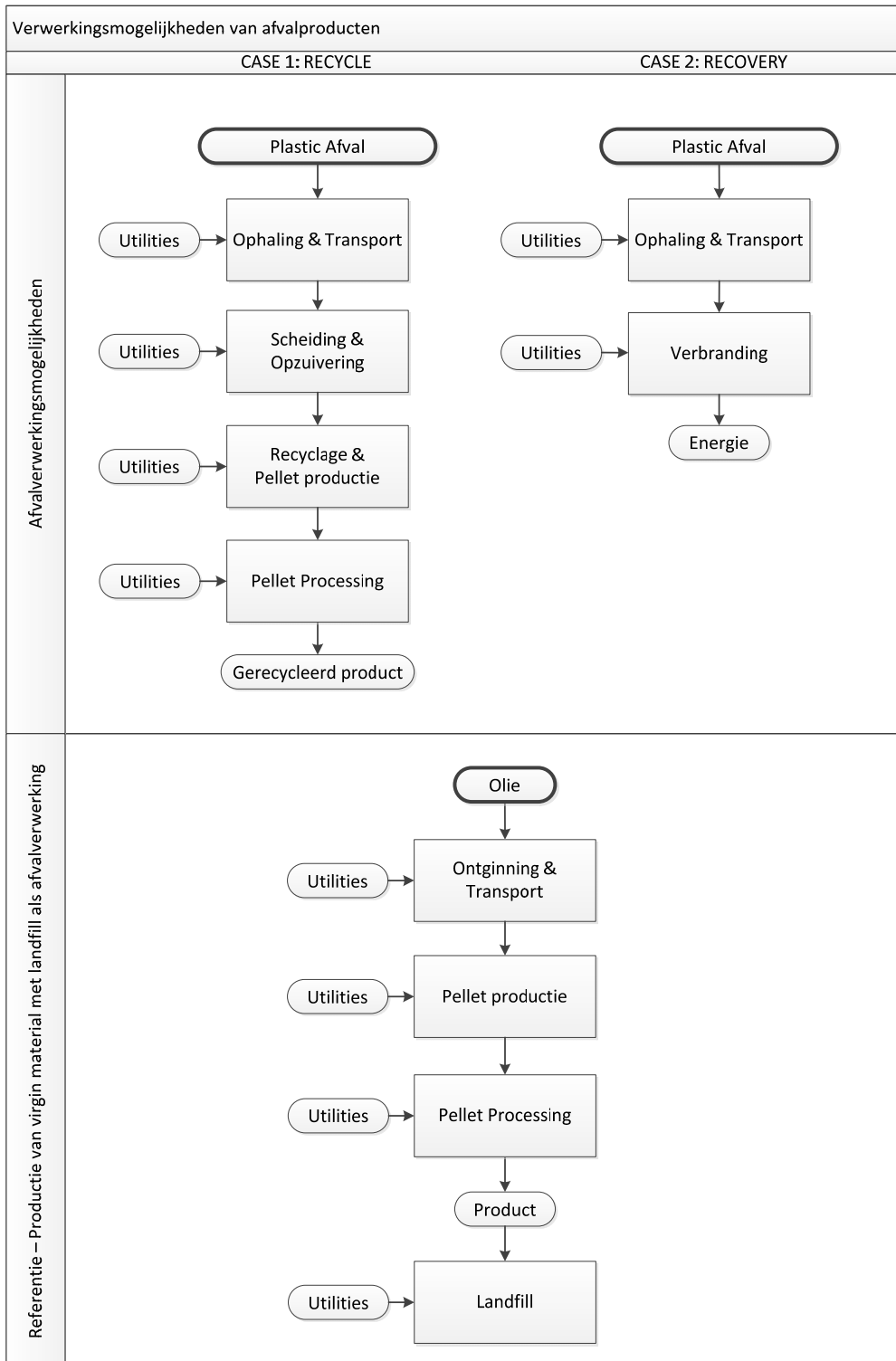
## 3 Materiaal en methoden

### 3.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid die in dit onderzoek zal worden gebruikt is de verwerking van 1 kg plastic afval.

### 3.2 Systeemgrenzen

De twee afvalverwerkingsmethoden die in dit onderzoek worden geëvalueerd zijn de recyclage gevolgd door een toepassing in hetzelfde of een ander product en recuperatie van energie door verbranding. Beide worden vergeleken met een referentiecasi, de productie van nieuwe kunststof uit aardolie waarbij het afval verwerkt wordt door middel van een *landfill* proces. De systeemgrenzen van de referentiecasi gaan van de ontginning en het transport van de ruwe aardolie naar de productie van de plastic zoals het in gebruik genomen wordt. Op het einde van de levensduur van het product wordt het verwerkt door middel van een *landfill* proces. In het geval van recyclage starten de systeemgrenzen bij de ophaling en het transport van het plastic afval en lopen tot de productie van gerecycleerde kunststof die opnieuw in gebruik kan genomen worden. Een visuele voorstelling van de basissysteemgrenzen is weergegeven in figuur 2.



**Figuur 2: De systeemgrenzen van de twee afvalverwerkingsmogelijkheden (recyclage en verbranding met energierecuperatie) en de referentiecasse.**



### 3.3 Analyse van de resource efficiency

In deze studie wordt gebruik gemaakt van bestaande waste-as-resource efficiency indicatoren, waarbij de focus ligt op de toepassing. Hiervoor kunnen de indicatoren gebruikt worden die uitgewerkt zijn door (Ardente *et al.*, 2012). De resultaten worden hierbij uitgedrukt in het percentage *benefit rate* van het recyclage- of recovery proces tegenover *business as usual* waarin virgin materiaal gebruikt wordt. In deze studie worden de indicatoren getest voor reële cases van kunststofrecyclage. De gebruikte formules worden hierna kort besproken.

Voor de berekening van de *benefit rates* in de volgende twee secties wordt gewerkt met een eenheid die de milieu-impact van elke grondstofontginning kwantificeert: de *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment* (CEENE). De CEENE methode werkt op basis van de eenheid exergie. Exergie drukt de kwaliteit van een grondstof uit op basis van de mogelijkheid van die grondstof om fysische of chemische arbeid te verrichten, relatief ten opzichte van de omgeving. Door een verschil in temperatuur, druk of chemische compositie komt potentieel vrij wanneer het verschil tussen de grondstof en de omgeving kleiner wordt. De exergie van de grondstof is dan uitgeput en de grondstof bevindt zich in de 'dode toestand'. De thermodynamische irreversibiliteit van alle processen zorgt ervoor dat de hoeveelheid exergie die verbruikt wordt bij een reactie slechte gedeeltelijk wordt omgezet in arbeid. De overige hoeveelheid exergie gaat verloren. In tegenstelling tot energie blijft de totale exergie van een systeem dus niet constant, maar neemt af bij elke reactie. De CEENE methode kwantificeert de hoeveelheid exergie die uit het ecosysteem onttrokken wordt bij het gebruik van een eenheid grondstof of energie. Op die manier kunnen alle grondstoffen, inclusief energie, zoals elektriciteit, en massa, zoals water op dezelfde schaal en met dezelfde eenheid worden uitgedrukt.

De milieu-impact uitgedrukt door de CEENE methode in dit onderzoek omvat enkel het grondstoffenverbruik. De resultaten in deze studie worden bepaald op basis van twee methoden: enerzijds de formules opgesteld door (Ardente *et al.*, 2012) en anderzijds de CEENE, die de eenheid vormt waarin de resultaten worden uitgedrukt.

### 3.3.1 Recyclability benefit rate

De *recyclability benefit rate*  $R'_{cyc,n}$  is een indicator die uitdrukt wat het grondstoffenvoordeel is van recycleren in vergelijking met de grondstofkost om nieuw materiaal te produceren en dit op het einde van de levensduur telkens via een *landfill* methode te verwerken. In het ideale geval, wanneer alle afval wordt gerecycleerd met een efficiëntie van 100%, waarbij het recyclageproces geen grondstoffen vereist, worden de twee termen in de teller gelijk aan de linkse en rechtse term in de noemer. Dan zorgen enkel de constructiefase en de gebruiksfase voor een *benefit rate* lager dan 100% (Ardente *et al.*, 2012).

$$R'_{cyc,n} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot D_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot (V_{n,i,j} - R_{n,i,j})}{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + M_n + U_n + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

$R'_{cyc,n}$  = *Recyclability benefit rate* voor de  $n^{de}$  impact categorie [%]

$m_{i,j}$  = Massa van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [kg]

$m_{recyc,i,j}$  = Massa van het  $i^{de}$  recycleerbare material van het  $j^{de}$  onderdeel [kg]

$RCR_{i,j}$  = Recyclagepercentage van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [%]

$D_{n,i,j}$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de *landfill* van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [CEENE/kg]

$V_{n,i,j}$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de productie van het  $i^{de}$  virgin materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [CEENE/kg]

$R_{n,i,j}$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor het recycleren van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [CEENE/kg]

$M_n$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor het in elkaar steken van het product [CEENE]

$U_n$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de gebruiksfase van het product [CEENE]

$P$  = Aantal onderdelen van het product

$N$  = Aantal types materiaal in het  $j^{de}$  onderdeel van het product

### 3.3.2 Energy recoverability benefit rate

De *energy recoverability benefit rate*  $ER_{cov,n}$  drukt uit wat het voordeel is van de nuttige energie die kan worden gerecupereerd door het afval te verbranden in vergelijking met het grondstoffenverbruik van de productie en afvalverwerking via *landfill* van nieuw materiaal.

$$ER_{cov,n} = \frac{(\eta_{el} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot EL_n + (\eta_{heat} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot Heat_n - \sum_{i=1}^Q m_{recov,i} \cdot I_{i,n}}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + M_n + U_n + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

$ER_{cov,n}$  = *Energy recoverability benefit rate* voor de  $n^{de}$  impact categorie [%]

$m_{i,j}$  = Massa van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [kg]

$\eta_{el}$  = Energie efficiëntie van de productie van elektriciteit in de verbrandingsoven (aangenomen standaardwaarde: 0,3) [%]

$RVR_i$  = Terugwinningspercentage van het  $i^{de}$  voor energie recuperatie geschikte materiaal [%]

$m_{recov,i}$  = Massa van het  $i^{de}$  voor energie recuperatie geschikte materiaal [kg]

$HV_i$  = *High heating value* van het  $i^{de}$  voor energie recuperatie geschikte materiaal [MJ/kg]

$\eta_{heat}$  = Energie efficiëntie van de productie van warmte in de verbrandingsoven (aangenomen standaardwaarde: 0,6)

$EL_n$  = Gemiddelde impact van de productie van elektriciteit in de EU27 voor de  $n^{de}$  impact categorie (berekend op levens cyclus inventarisatie data van de ELCD databank<sup>118</sup>) [CEENE/MJ]

$Heat_n$  = Gemiddelde impact van de productie van warmte n de EU27 voor de  $n^{de}$  impact categorie (berekend op levens cyclus inventarisatie data van de ELCD databank<sup>118</sup>) [CEENE/MJ]

$I_{i,n}$  = Impact van de verbranding van het  $i^{de}$  materiaal voor de  $n^{de}$  impact categorie [CEENE/kg]

$V_{n,i,j}$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de productie van het  $i^{de}$  virgin materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [CEENE/kg]

$D_{n,i,j}$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de *landfill* van het  $i^{de}$  materiaal van het  $j^{de}$  onderdeel [CEENE/kg]

$M_n$  = Impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor het in elkaar steken van het product [CEENE]

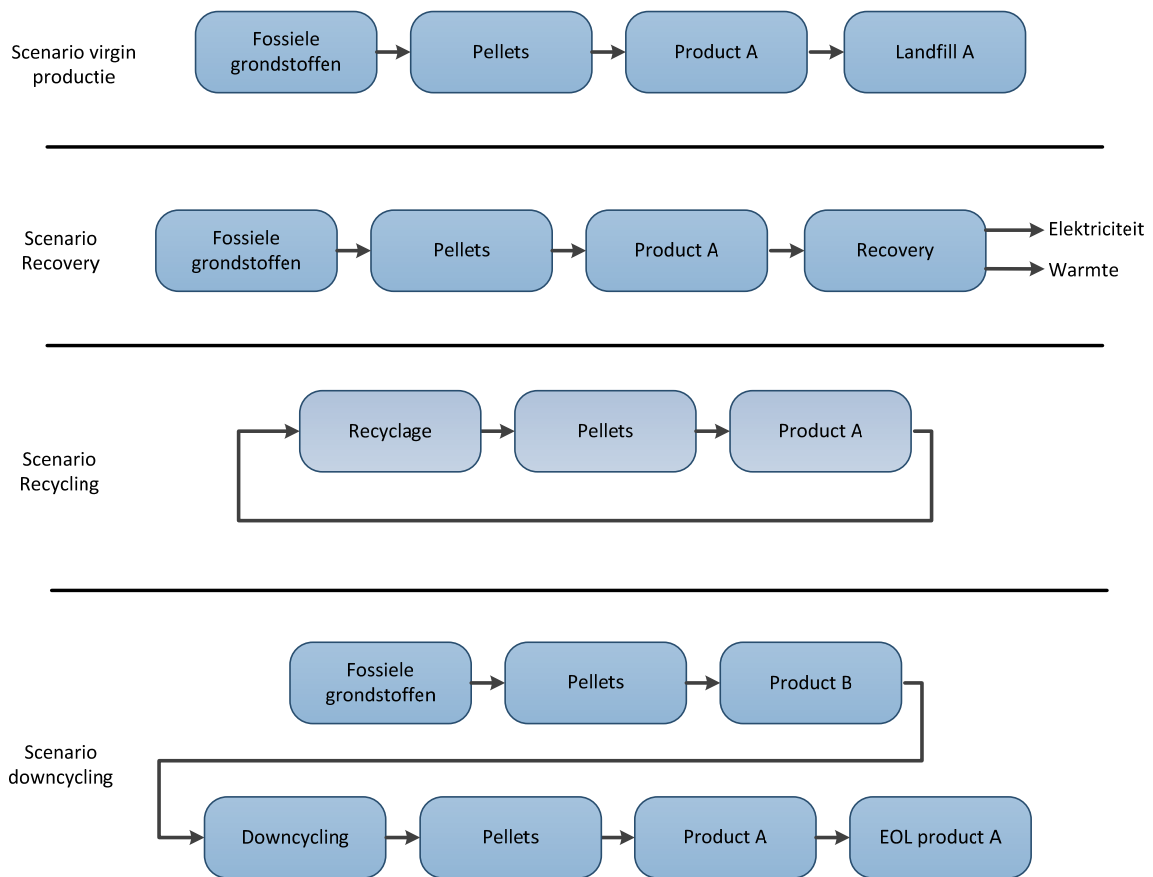
$U_n$  = impact gerelateerd aan de  $n^{de}$  impact categorie voor de gebruiksfase van het product [CEENE]

$Q$  = aantal voor energie recuperatie geschikte materialen

## 3.4 Analyse reële scenario's, aangepaste formules en assumpties

### 3.4.1 Analyse reële scenario's

Bovenstaande *recyclability* en *energy recoverability benefit rate* worden voorgesteld door de Europese Commissie. Belangrijk is om dit te toetsen aan de reële scenario's in Vlaanderen en Europa. De verschillende opties worden weergegeven in figuur 3. Het basisscenario in bovenstaande formules is steeds landfill van het product of materiaal, dat dan afgetoetst wordt tegen recycling of recovery. De formules zullen ook op deze wijze berekend worden. Hierbij dient echter rekening gehouden te worden met het feit dat in Vlaanderen landfill steeds minder voorkomt en dat het referentiescenario vaak verbranding is. Daarom werd in deze studie ook recycling tegenover recovery gezet, weliswaar zonder dit als benefit rate te beschouwen. Bovendien is recycling niet zo evident te definiëren. Naargelang de zuiverheidsgraad van het afval kan de gerecycleerde kunststof op twee manieren gebruikt worden. In het geval van een zuivere afvalstroom kan de kunststof opnieuw gebruikt worden voor zijn oorspronkelijke toepassing, zoals bij PVC-raamprofielen het geval is. Wanneer het een minder zuivere afvalstroom betreft wordt het recycklaat aangewend bij toepassingen die minder kwalitatief materiaal vereisen, zoals tuinbanken. In dit geval spreekt men over downcycling. Dit fenomeen maakt de het berekenen van benefit rates complexer, aangezien in dit geval de scope verbreedt naar meerdere producten en er ook meerdere referentiescenario's bestaan. Zo kunnen tuinbanken uit andere materialen bestaan dan kunststoffen. Deze scenario's werden ook berekend op basis van functionaliteit van de producten, wederom zonder hiervan de benefit rate te berekenen.



**Figuur 3: De schematische vergelijking van de productieprocessen van een virgin product dat gestort wordt, een product virgin geproduceerd dat verbrand wordt, een gerecycleerd product en een product dat gerecycleerd wordt in een lagere toepassing (downcycling).**

### 3.4.2 Aangepaste formules

De gebruikte formules hebben als doel het grondstoffenvoordeel van recyclage- en verbrandingsscenario's te vergelijken met een scenario waarbij producten uit virgin materiaal geproduceerd worden, op vlak van productie en afvalverwerking. De gebruiksfase valt daarom buiten de scope van deze studie. Daarom kunnen in dit onderzoek de formules uit de vorige sectie vereenvoudigd worden. Zo kan de gebruiksfase ( $U_n$ ) uit de formules voor de *recyclability benefit rate* en de *recoverability benefit rate* geschrapt worden. De impact van de constructiefase ( $M_n$ ) slaat op het assembleren van een product dat uit verschillende materialen bestaat. Aangezien dit niet noodzakelijk geldt voor plastic producten, die in een matrix gespoten worden, kan deze factor geschrapt worden uit de vergelijking. De gecorrigeerde formules worden hieronder weergegeven:

*Recyclability benefit rate:*

$$R'_{cyc,n} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot D_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot (V_{n,i,j} - R_{n,i,j})}{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

*Energy recoverability benefit rate:*

$$ER_{cov,n} = \frac{(\eta_{el} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot EL_n + (\eta_{heat} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot Heat_n - \sum_{i=1}^Q m_{recov,i} \cdot I_{i,n}}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

### 3.4.3 Assumpties

Aangezien dit onderzoek enkel de productiefase en de *end-of-life* fase beschouwt wordt de levensduur tijdens de gebruiksfase van de besproken producten niet in rekening genomen in deze studie. Indien een mengsel van verschillende stoffen met een bepaalde relatieve samenstelling gerecycleerd wordt, dan wordt verondersteld dat de recyclage-efficiëntie gelijk is voor alle stoffen in het mengsel. Het recyclageproduct heeft dus dezelfde relatieve samenstelling als het afvalproduct. Bij de berekening van de *recyclability benefit rate* en bij de productvergelijkingen zuiver op massabasis wordt ervan uit gegaan dat het gerecycleerde product dezelfde peformantie heeft als het virgin product, tenzij anders vermeld.

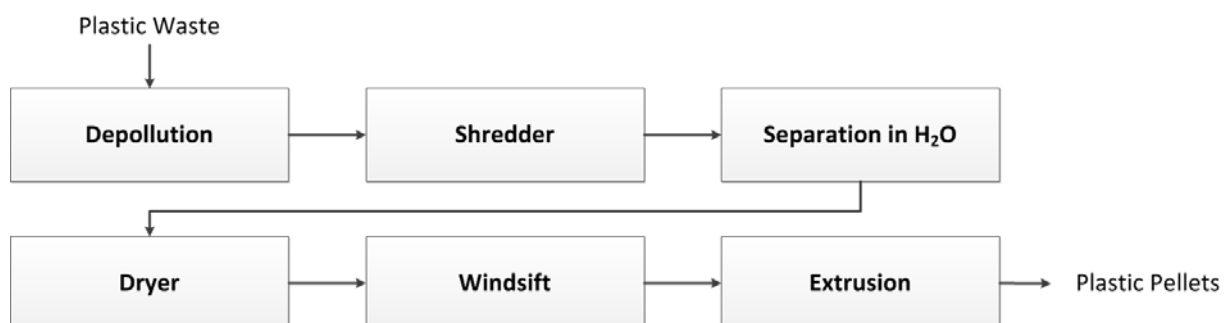
## 4 Case studies

De eerder vermelde indicatoren worden getest door middel van de analyse van twee processen waarbij plastic gerecycleerd wordt, uitgevoerd door Universiteit Gent bij de bedrijven Ekol en Galloo. Deze twee cases zijn interessant op zich en geven ook een goed beeld van hoe plastic afval kan voorkomen. In het geval van Ekol gaat dit om puurdere plastic stromen zoals deze verzameld op de containerparken en uit verpakkingstromen. In het geval van Galloo betreft het plastics gebruikt in elektrische en elektronische toepassingen in een assemblage van een groot aantal materialen. Beide verwerken dus plastic afval en produceren er zelf nieuwe gerecycleerde producten of pellets mee. In het geval van Galloo worden de niet recycleerbare fracties gebruikt voor energierecuperatie. Bij de productvergelijkingen werd de productspecifieke informatie steeds verkregen via het raadplegen van (online) catalogussen van de betrokken partners en persoonlijke communicatie.

### 4.1 Ekol

#### 4.1.1 Situering en proces

Ekol, gevestigd in Houthalen-Helchteren, verwerkt alle plastic afval dat niet in de PMD fractie thuis hoort. De ophaling bij de consument gebeurt door het Intercommunale Ontwikkelingsmaatschappij voor de Kempen (IOK) in de regio's Limburg, Antwerpen en Vlaams-Brabant. Jaarlijks wordt 13.000 ton plastics verwerkt, met een maximale capaciteit van 17.000 ton. De plastics worden verwerkt door middel van een zuiveringsstap, een shredderstep, een scheidingsstap, een droogstap en een extrusie. De verwerking wordt schematisch voorgesteld in figuur 4. Als finaal product worden er plastic producten zoals banken, compostbakken, paletten, etc. geproduceerd die zelf ook volledig recycleerbaar zijn. De site van Ekol beschikt over zijn eigen waterzuiveringsinstallatie, waardoor er geen water geloosd wordt in de riolering (afgezien van sanitair water). Voor de productie wordt er onder andere gebruik gemaakt van regenwater om het grondstoffenverbruik verder te drukken.



Figuur 4: Schematische voorstelling van het recyclageproces in Ekol.

De twee kunststofcomposieten die door Ekol geproduceerd worden betreffen:

- 80% polyethyleen (PE) + 20% polypropyleen (PP)
- 20% polyvinylchloride (PVC) + 40% polystyreen (PS) + 40% polyethyleentereftalaat (PET)

#### 4.1.2 Case specifieke methodologie

De systeemgrenzen van deze analyse starten bij het transport van het plastic afval van een containerpark naar het overslagstation van IOK in Mol. Van dit overslagstation wordt het afval getransporteerd naar Ekol, waar het verwerkt wordt. Het einde van de systeemgrenzen betreft het geproduceerde granulaat uit gerecycleerde plastics. Een data inventaris werd gemaakt die gebaseerd is op de productiedata van 2012.

Aangezien beide composieten hetzelfde traject doorlopen in de fabriek en er enkel data beschikbaar was van de gehele site is er een allocatie gebeurd waarbij de totale hoeveelheid grondstoffen gedeeld werd door de totale hoeveelheid geproduceerde kunststoffen. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende composieten. De berekening van de milieu-impact van het recyclageproces wordt gemaakt met behulp van de OpenLCA software ontwikkeld door GreenDelta gecombineerd met de ecoinvent v2.2 database. De methode die gebruikt wordt om de milieu-impact uit te drukken is de *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment* (CEENE), uitgedrukt in MJ exergie.

#### 4.1.3 Resultaten

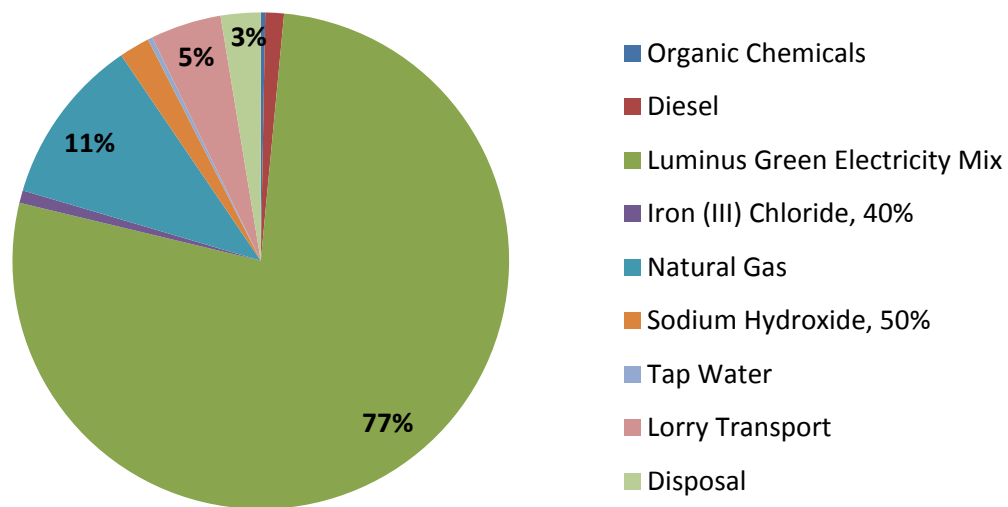
Een overzicht van de benodigde grondstoffen voor het recyclageproces is gegeven in tabel 1. Het vaste afval dat gegenereerd wordt tijdens de productie wordt verwerkt door verbranding en het afvalwater wordt verwerkt in een afvalwaterverwerkingsinstallatie. De afvalverwerking verbruikt ook grondstoffen, die verwerkt zitten in het onderdeel *disposal* in figuur 5.



Tabel 1: De benodigde grondstoffen voor de productie via recyclage van 1 kg composiet.

Grondstoffen:	
Plastic afval	1,254 kg
Aardgas	0,178 kWh
Elektriciteit	0,827 kWh
Drinkwater	0,000335 m <sup>3</sup>
Regenwater	0,000178 m <sup>3</sup>
Diesel	0,00167 L
FeCl <sub>3</sub> 40%	0,00271 kg
NaOH 30%	0,00476 kg
Poly elektrolyet	0,000285 kg
Transport	0,0502 tkm

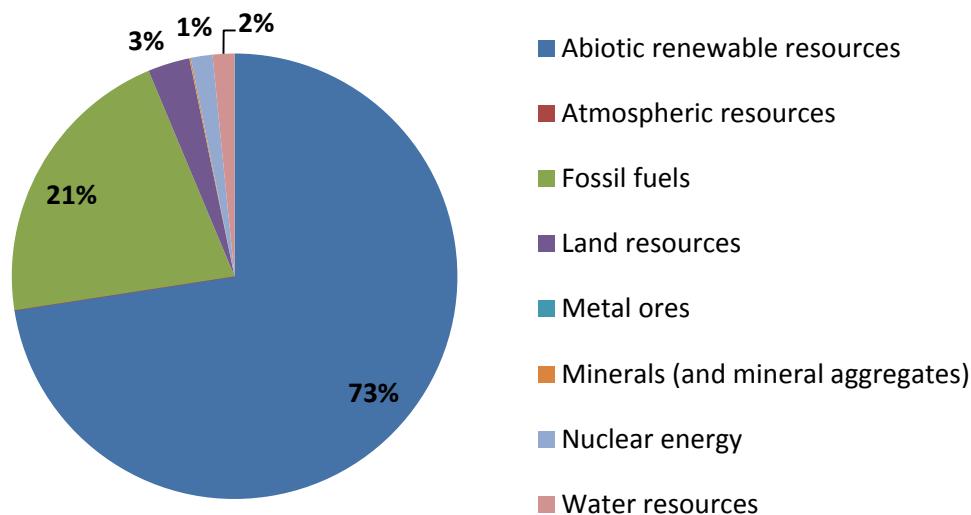
De resultaten van het relatief grondstoffenverbruik van het recyclageproces worden weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Voorstelling van de relatieve bijdragen van de inputs tot het grondstoffenverbruik van het recyclageproces uitgedrukt in CEENE.

De grootste milieu-impact (77%) van het recyclageproces wordt veroorzaakt door het elektriciteitsgebruik. De productiemix die gebruikt wordt door Ekol is de Luminus Green Electricity mix, waarbij voor 100% gebruik gemaakt wordt van groene energie. De verdeling van de types van groene energie is gebaseerd op garanties van oorsprong die in Vlaanderen voorgelegd worden ter staving van het groene karakter van de elektriciteit (vreg, 2013). De specifieke mix van Luminus wordt bijgevolg voor het grootste deel (80%) opgewekt met waterkracht en in mindere mate met windenergie (15%) en verbranding van biomassa en biogas (5%).

De tweede grootste milieu-impact op vlak van grondstoffenverbruik van het recyclageproces wordt veroorzaakt door de verbranding van aardgas (11%) dat gebruikt wordt voor het drogen van het materiaal na de scheidingsstap in water. De derde voornaamste impactfactor betreft het vrachtwagentransport van het afval van de containerparken naar de IOK ophaalcentrale in Mol en vervolgens naar Ekol, waar het verwerkt wordt. De impact van de *waste treatment* van de afvalstromen die gegenereerd worden tijdens het recyclageproces bedraagt 3% van het totaal. Dit betreft de verbranding van afvalstromen of het behandelen van afvalwater.



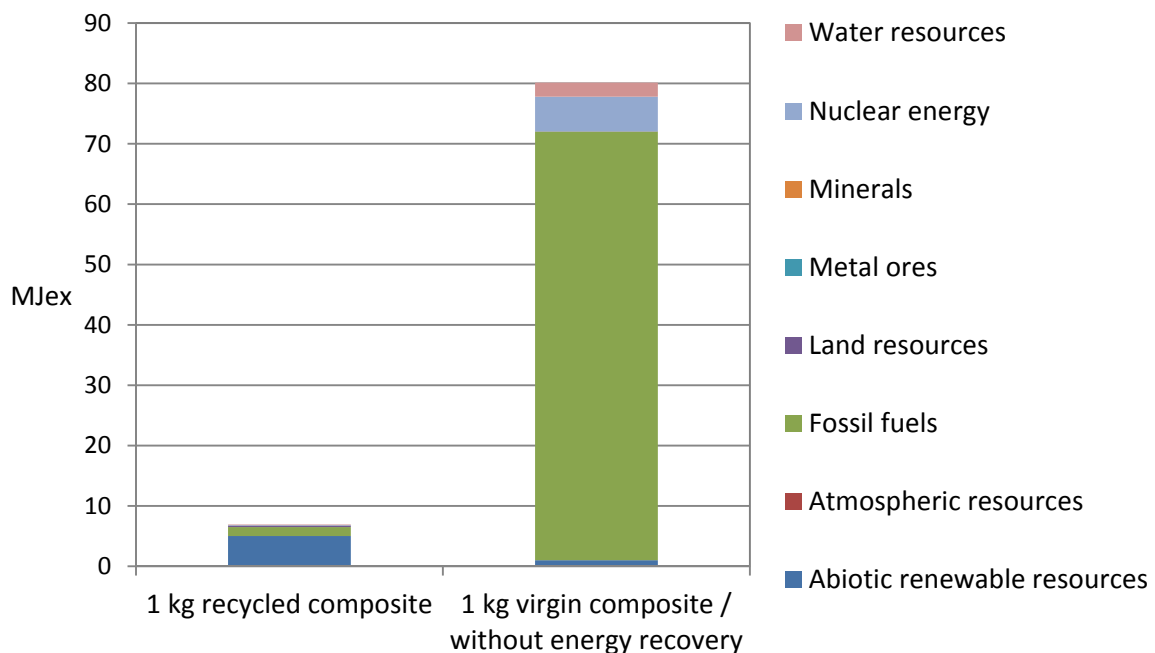
**Figuur 6:** Voorstelling van het relatieve grondstoffenverbruik van het recyclageproces uitgedrukt in CEENE.

In figuur 6 wordt het relatief grondstoffenverbruik van het recyclageproces weergegeven in de grondstoffencategoriën gebruikt in de CEENE methodologie. De voornaamste bijdrage (73%) betreft *renewable resources*, wat het groene karakter van de gebruikte elektriciteitsmix weerspiegelt. De tweede grootste bijdrage betreft de *fossil fuels* (21%), welke het gebruik van aardgas, diesel en het transport weergeven.

Eerst en vooral zal nu een vergelijking gemaakt worden op massabasis, d.w.z. een massa gerecycleerde pellet t.o.v. een massa virgin pellets. Nadien zullen de benefit rates vergeleken worden en zal ook een vergelijking op basis van functionaliteit gemaakt worden om ook een beeld van mogelijke downcycling scenario's te krijgen.

#### 4.1.4 Vergelijking op massabasis

De pellets geproduceerd door Ekol worden eerst vergeleken met virgin pellets louter op basis van massa. Een kg gerecycleerd plastic dat voor 80% bestaat uit polyethyleen (PE) en voor 20% uit polypropyleen (PP) wordt vergeleken met de virgin productie van 0,8 kg PE en 0,2 kg PP. Bij de resultaten wordt er op vlak van de CEENE een onderverdeling gemaakt voor de verschillende types van grondstoffen: *water resources*, *nuclear energy*, *minerals*, *metal ores*, *land resources*, *fossil fuels*, *atmospheric resources* en *abiotic renewable resources*. De resultaten voor de vergelijking van de milieu-impact op massabasis zijn weergegeven in figuur 7.

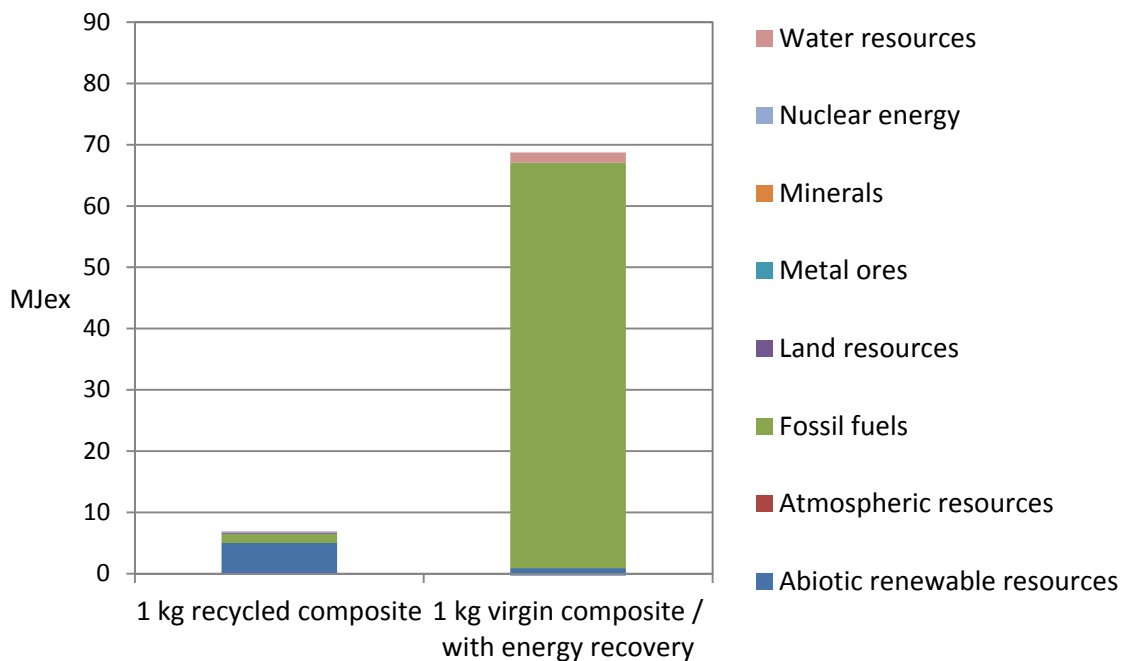


**Figuur 7: Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1kg gerecycleerde pellets (80% PE, 20% PP) tegenover de virgin productie.**

De impact van het recyclageproces waarbij van 1,254 kg plastic afval 1 kg gerecycleerde kunststof wordt gemaakt verbruikt 6,93 MJex aan grondstoffen, terwijl de virgin pellets een behoefte hebben van 80,13 MJex/kg grondstoffen. De negatieve milieu-impact van de *disposal phase* (transport ed.) wordt in dit geval voor beide processen gelijk verondersteld en dus weggelaten.

In de huidige Vlaamse context echter wordt plastic afval vaak verbrand met energierecuperatie in plaats van gerecycleerd. Om de verbranding van de SRF in het geval van virgin productie in rekening te brengen wordt er een deel van de milieu-impact van de virgin pellets afgetrokken. De verbranding van 1 kg plastics levert 4,11 MJ elektriciteit op. Deze waarde is afkomstig van de ecoinvent v2.2 database en gebaseerd op de verbranding van een mengsel van plastics. De grondstoffen die nodig zijn voor de opwekking van deze hoeveelheid elektriciteit hebben een CEENE impact van 12,60 MJex. De milieu-impact van de virgin productie valt hierdoor terug van 80,13 MJex/kg naar 67,53 MJex/kg.

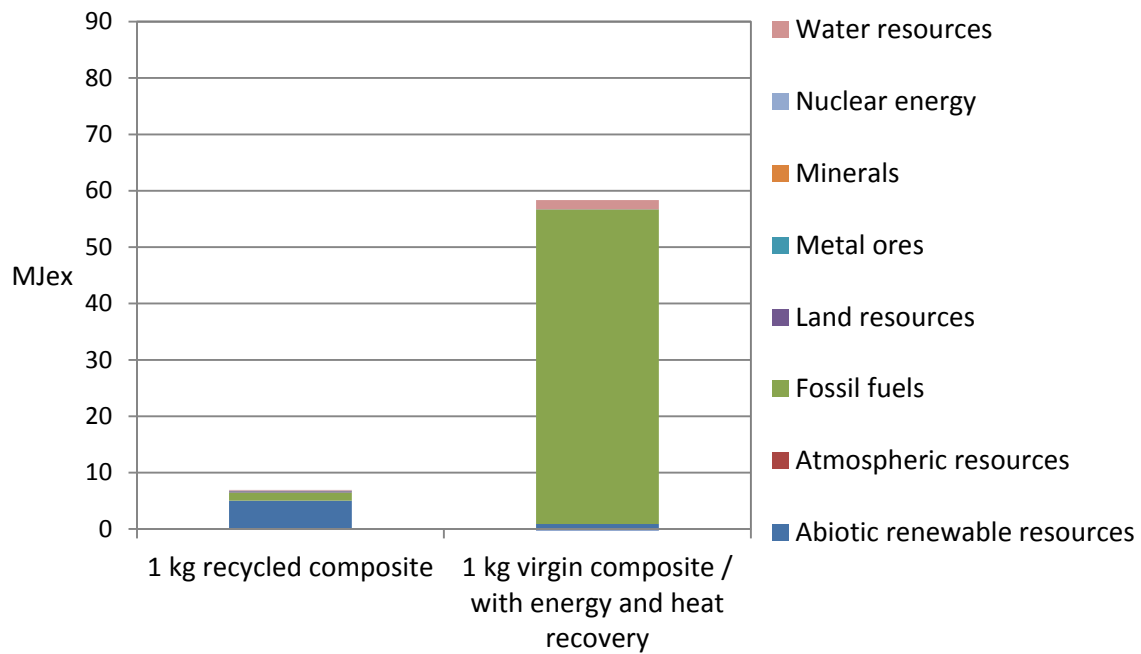
De resultaten voor de vergelijking op massabasis in het geval van energierecuperatie door opwekking van elektriciteit is weergegeven zijn figuur 8.



**Figuur 8: Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1 kg gerecycleerde pellets (80% PE, 20% PP) tegenover de virgin productie in het geval van elektriciteitsproductie door de verbranding van de afgedankte virgin plastics.**

In de nabije toekomst zal het ook mogelijk zijn om de warmte die gegenereerd is door de verbranding ook een nuttige toepassing te geven. In dat geval wordt nog meer bespaard op de milieu-impact. De verbranding van 1 kg plastics leidt tot een warmtegeneratie van 8,30 MJ. De grondstoffen die nodig zijn voor de opwekking van deze hoeveelheid warmte hebben een CEENE impact van 10,44 MJex. De milieu-impact valt hiermee terug van 67,53 MJex/kg (in het geval van energierecuperatie door elektriciteitsproductie) naar 57,08 MJex/kg (als de warmteproductie ook nuttig gebruikt wordt). De resultaten voor de vergelijking op massabasis in het geval van energierecuperatie door opwekking van elektriciteit en warmtegeneratie zijn weergegeven in figuur 9. Dit komt overeen met een besparing door recyclage van ongeveer 1.64 (excl. verbranding met heat recovery) tot 1.28 (incl. verbranding met heat recovery) kg olie equivalent<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> De effectief bespaarde grondstoffen in deze waarde zijn niet enkele fossiele brandstoffen



**Figuur 9:** Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1 kg gerecycleerde pellets (80% PE, 20% PP) tegenover de virgin productie in het geval van elektriciteit- en warmteproductie door de verbranding van de afgedankte virgin plastics.

Dit komt verder tot uiting in de *recovery benefit rate*. Voor de *recyclability benefit rate* wordt voor de *disposal* in het referentieproces gekozen voor een *landfill* scenario.

Recyclability benefit rate van de vergelijking op massabasis:

$$R'_{cyc,n} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot D_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot (V_{n,i,j} - R_{n,i,j})}{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

massa van het recycleerbare materiaal  $m_{recyc,i,j} = 1$  kg

de massa  $m_{i,j} = 1$  kg

het recyclagepercentage  $RCR_{i,j} = 79,74\%$  (1.00kg geproduceerd per 1.254 kg binnenkomend materiaal)

de impact van de disposal  $D_{n,i,j} = 0,54$  MJex/kg (dit is de milieu-impact van de afvalverwerkingsmethode van het referentieproces; *landfill*)

de impact van de virgin productie  $V_{n,i,j} = 80,13$  MJex/kg

de impact van het recyclageproces  $R_{n,i,j} = 6,93$  MJex/kg

worden verondersteld.

Dit levert:

$$R'_{cyc,n} = \frac{1kg \cdot 79,74\% \cdot \frac{0,54MJex}{kg} + 1kg \cdot 79,74\% \cdot \left(\frac{80,13MJex}{kg} - \frac{6,93MJex}{kg}\right)}{1kg \cdot \frac{80,13MJex}{kg} + 1kg \cdot \frac{0,54MJex}{kg}} \cdot 100 = 72,89\%$$

Energy recoverability benefit rate van de vergelijking op massabasis:

$$ER_{cov,n} = \frac{(\eta_{el} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot EL_n + (\eta_{heat} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot Heat_n - \sum_{i=1}^Q m_{recov,i} \cdot I_{i,n}}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

De efficiëntie van de elektriciteitsproductie bij verbranding  $\eta_{el} = 0,3$

het terugwinningspercentage van het voor energierecuperatie geschikte materiaal  $RVR_{i,j} = 100\%$

de verbrande massa  $m_{recov,i,j} = 1 \text{ kg}$  (waarbij dit ook gelijk is aan de totale massa  $m_{i,j}$ )

de *high heating value* van het verbrande materiaal  $HV_i = 42 \text{ MJ/kg}$

de impact van elektriciteitsproductie in de EU27  $EL_n = 3,066 \text{ MJex/MJ}$

de impact van de verbranding  $I_{i,n} = 1,06 \text{ MJex/kg}$

de impact van de disposal  $D_{n,i,j} = 0,54 \text{ MJex/kg}$  (dit is de milieu-impact van de afvalverwerkingsmethode van het referentieproces; *landfill*)

de impact van de virgin productie  $V_{n,i,j} = 80,13 \text{ MJex/kg}$

worden verondersteld.

De energie efficiëntie van de warmteproductie  $\eta_{heat}$  en de impact van warmteproductie in de EU27  $Heat_n$  worden in deze vergelijking op 0 gesteld aangezien er in de meeste verbrandingsinstallaties in Vlaanderen geen restwarmte gevaloriseerd wordt.

Dit levert:

$$ER_{cov,n} = \frac{\left(0,3 \cdot 100\% \cdot 1 \text{ kg} \cdot \frac{42 \text{ MJ}}{\text{kg}}\right) \cdot \frac{3,066 \text{ MJex}}{\text{MJ}} - 1 \text{ kg} \cdot \frac{1,06 \text{ MJex}}{\text{kg}}}{1 \text{ kg} \cdot \frac{80,13 \text{ MJex}}{\text{kg}} + 1 \text{ kg} \cdot 0,54 \text{ MJex/kg}} \cdot 100 = \mathbf{46,58\%}$$

## 4.1.5 Vergelijking op functionaliteit

De kunststof producten geproduceerd door Ekol bevatten nog een aantal onzuiverheden, en zijn door hun gerecycleerde aard niet helemaal homogeen. Dit brengt met zich mee dat de materialen niet altijd even performant zijn als volledig homogene en zuivere virgin materialen. Daarom moet er ook een vergelijking gemaakt worden op basis van de functionaliteit van een product, waarbij een gerecycleerd product van Ekol steeds meer massa zal nodig hebben om dezelfde performantie te bereiken als een virgin product.

In volgende productvergelijkingen werd de milieu-impact berekend van de productieprocessen, het gebruik van de benodigde materialen en de *end-of-life disposal*. Materialen met een marginale bijdrage, zoals nagels, verf of impregneermiddelen, werden niet in rekening gebracht.

In een functionaliteitsstudie is de levensduur van de producten belangrijk. Een product dat 5 jaar mee gaat zal, indien steeds vervangen, een vier maal hogere milieu-impact genereren dan een product met een levensduur van 20 jaar. In deze studie werd de levensduur van de producten gelijk verondersteld en dus niet meegenomen in de vergelijking.

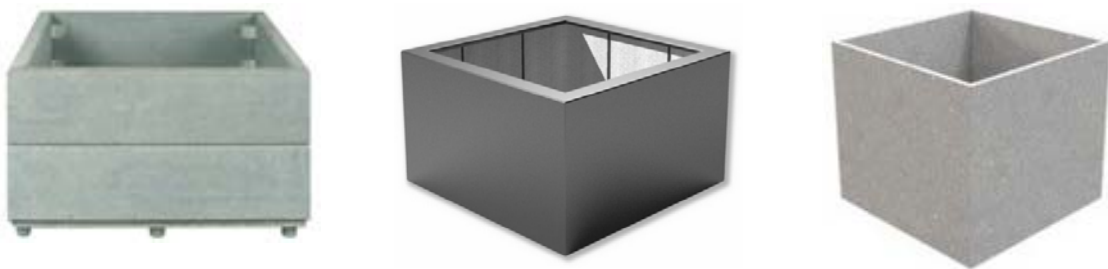
### 4.1.5.1 Vergelijking van een plantenbak

De eerste productvergelijking betreft enerzijds de plantenbak "Aesculus", geproduceerd door Ekol mbv. een intrusieproces. Deze wordt vergeleken met plantenbakken die terug te vinden zijn in de online catalogussen van andere firma's die actief zijn in de tuinmeubelensector. Dergelijke plantenbakken zijn veelal gemaakt van hout of aluminium. De plantenbakken die gemaakt zijn van kunststof beperken zich tot de materialen geëxpandeerd polystyreen (EPS of piepschuim) en polyester (polyethyleen tereftalaat of PET). Beide materialen zijn echter vele malen lichter van de PE/PP-mix van Ekol. De plantenbak "Buxus" van planten-bakken.nl, geproduceerd door de firma Potmaat, wordt geproduceerd uit polyester. Dezelfde firma produceert ook plantenbakken van dezelfde dimensies uit polymerebeton, dat bestaat uit kwartsvulstoffen gebonden met kunsthars. Er werd een vergelijking gemaakt op vlak van de milieu-impact van deze drie plantenbakken. De productspecificaties en het uitzicht van de verschillende plantenbakken zijn weergegeven in respectievelijk tabel 2 en figuur 10.

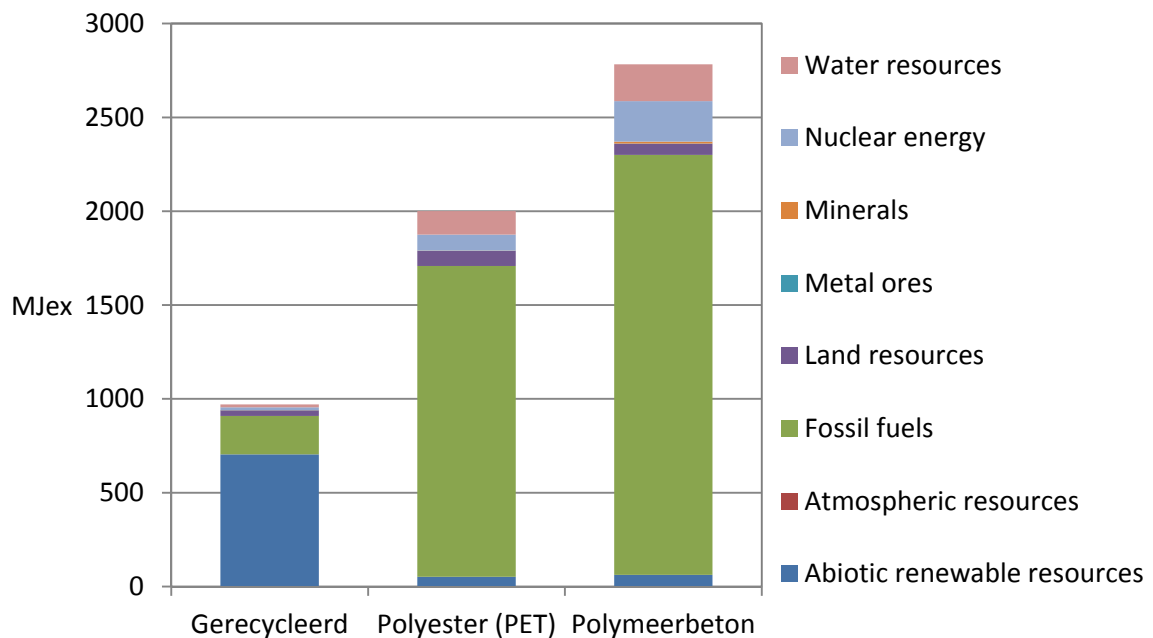


Tabel 2: Productspecificaties van de verschillende plantenbakken.

	Aesculus (Ekol)	Buxus (Potmaat)	Banco (Potmaat)
Dimensies	100cm x 100cm x 54cm	100cm x 100cm x 60cm	100cm x 100cm x 60cm
Gewicht	140 kg	19 kg	195 kg
Compositie	80% PE / 20% PP	Polyester - PET	Polymeerbeton
Prijs	€ 291.5	€ 339.73	€ 779.69



Figuur 10: De plantenbakken “Aesculus” van Ekol (links), “Firenza” van TerrasPotten.nl (midden) en “Banco” van Potmaat (rechts).



Figuur 11: Vergelijking van de milieu-impact van het grondstoffenverbruik van een plantenbak gemaakt uit gerecycleerd PE/PP tegenover een plantenbak gemaakt uit virgin polyester (PET) of polymeerbeton.

In figuur 11 worden de resultaten op vlak van de milieu-impact van de gebruikte grondstoffen weergegeven, evenals die van het productieproces en de *end-of-life disposal*. In het geval van het gerecycleerde product wordt er geen impact toegewezen aan de *disposal phase* want het product kan opnieuw gerecycleerd worden volgens precies hetzelfde proces, waar de impact van de *disposal* reeds inbegrepen is. De polyester plantenbak wordt verondersteld naar een verbrandingsinstallatie te gaan. Zowel de impact van de verbranding zelf (1,06 MJex/kg) als de energiewinst bij verbranding (12,60 MJex/kg) zijn inbegrepen in de resultaten. Voor het polymeerbeton wordt verondersteld dat het afval naar *landfill* gaat.

De milieu-impact van het grondstoffenverbruik van een plantenbak geproduceerd uit gerecycleerd materiaal is 971 MJex, die van een plantenbak uit polyester 2000,73 MJex en een plantenbak uit polymeerbeton verbruikt 2782 MJex aan grondstoffen.

De grondstofcategorie die het meest gebruikt wordt bij de productie van het gerecycleerde materiaal is de *abiotic renewable resources* (704 MJex). Dit zijn de waterkracht- en windenergie die gebruikt worden om elektriciteit op te wekken voor de groene elektriciteitsmix van Luminus. Het aandeel aan *fossil fuels* (205 MJex) is te wijten aan het gebruik van aardgas bij de productie.

De *fossil fuels* zijn ook de meest gebruikte grondstof bij zowel de productie van een polyester plantenbak als die van polymeerbeton (respectievelijk 1656 MJex en 2238 MJex). In het geval van polyester is dit te wijten aan de aard van de grondstof, die gebaseerd is op aardolie. Op vlak van polymeerbeton is er ook een kunstharz die de cement samen bindt. De rest van de milieu-impact is te wijten aan het ontginnings- en productieproces.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de milieu-impact van een gerecycleerde plantenbak 51,49% lager is dan die van een plantenbak uit polyester en 65,12% lager dan die van een plantenbak uit polymeerbeton.

#### **4.1.5.2 Vergelijking van een zitbank**

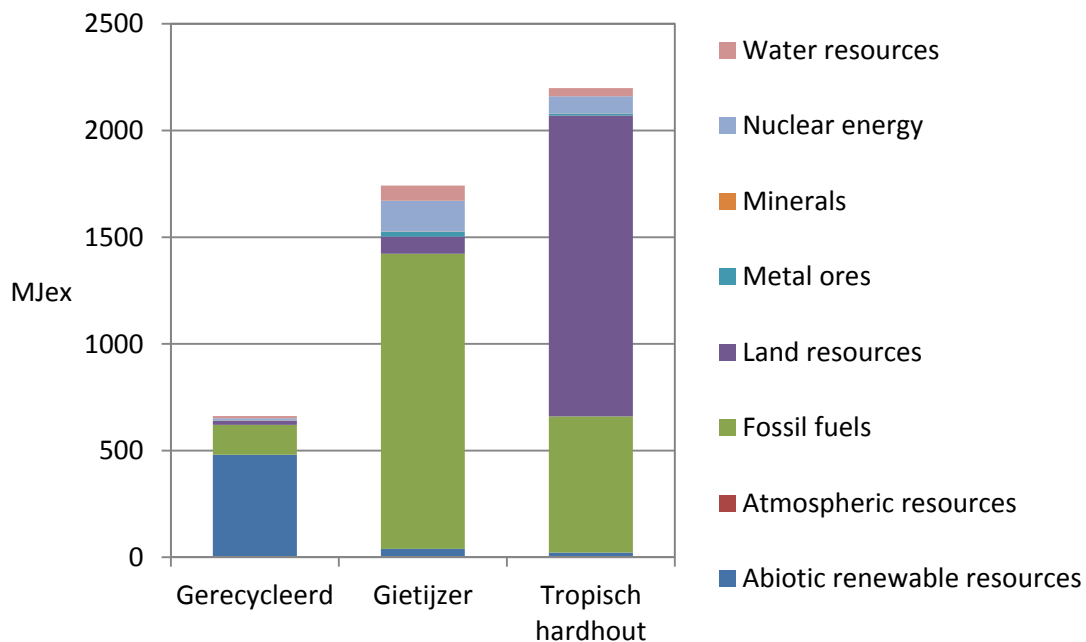
Een tweede productvergelijking betreft een zitbank. Ekol produceert zitbanken van gerecycleerde kunststof die als straatmeubilair kunnen dienen. Deze zitbank werd vergeleken met een gietijzeren zitbank en een zitbank uit tropisch hardhout met gietijzeren onderstel, geproduceerd door Metaalwaren Claerbout. De productspecificaties en het uitzicht van de verschillende zitbanken zijn weergegeven in respectievelijk tabel 3 en figuur 12.

Tabel 3: Productspecificaties van de verschillende zitbanken.

	Zitbank (Ekol)	Metalen zitbank (Claerbout)	Houten zitbank (Claerbout)
Breedte	200 cm	180 cm	200 cm
Gewicht	95,5 kg	63 kg	Hout: 32,5 kg Onderstel: 26 kg
Compositie	80% PE / 20% PP	Gietijzer	Tropisch hardhout / Gietijzer
Prijs	€ 366,03	€ 671,55	€ 399,30



Figuur 12: De zitbank "Park" van Ekol (links) en de zitbanken "106" (midden) en "114" van Claerbout (rechts).



Figuur 13: Vergelijking van de milieu-impact van het grondstoffenverbruik van een zitbank gemaakt uit gerecycleerd PE/PP tegenover een zitbank gemaakt uit gietijzer of een combinatie van tropisch hardhout en gietijzer.

In figuur 13 worden de resultaten op vlak van de milieu-impact van de gebruikte grondstoffen weergegeven, evenals die van het productieproces en de *end-of-life disposal*. Zoals eerder vermeld bij de gevalstudie rond plantenbakken wordt er geen impact toegekend aan de *disposal phase* van de zitbank van gerecycleerde kunststof want het product kan opnieuw gerecycleerd worden volgens precies hetzelfde proces, waar de impact van de *disposal* reeds inbegrepen is. De zitbank van gietijzer wordt verondersteld na de gebruiksfase naar een sorteerinstallatie te gaan waarbij het ijzer kan gesmolten worden en opnieuw gebruikt. Enkel het transport van de *disposal phase* wordt in rekening gebracht, omdat het smelten deel is van een nieuwe productieroute. Het gietijzer in het onderstel van de houten zitbank wordt verondersteld dezelfde *disposal* te ondergaan als het vorige voorbeeld. De houten onderdelen van de zitbank worden naar een verbrandingsinstallatie getransporteerd waar ze verbrand worden met een elektriciteitsgeneratie van 1,3 MJ/kg. Dit levert een besparing van 3,99 MJex aan grondstoffen op die anders verbruikt zouden worden voor de virgin productie van die elektriciteit. Bij het kwantificeren van de milieu-impact van tropisch hardhout werd uitgegaan van een dichtheid van 0,55 g/cm<sup>3</sup> (Reyes *et al.*, 1992).

De milieu-impact van het grondstoffenverbruik van de productie van een zitbank uit gerecycleerde kunststof is 662 MJex, die van een zitbank uit gietijzer 1742 MJex en die van een zitbank uit zowel gietijzer als tropisch hardhout 2069 MJex.

Dezelfde trends in grondstoffenverbruik als bij de productie van de plantenbakken is zichtbaar, waarbij de *fossil fuels* (1383 MJex) de grootste impact leveren in het geval van een gietijzeren zitbank. In het geval van een zitbank van tropisch hardhout met gietijzeren onderstel worden er veel *land resources* (1409 MJex) verbruikt. Deze omvatten de extractie van tropisch hardhout uit een natuurlijk bos. Het verbruik van *fossil fuels* (588 MJex) is nog steeds prominent. Dit is te wijten aan het gietijzeren onderstel.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat een zitbank van gerecycleerde kunststof 61,98% minder grondstoffen verbruikt dan een zitbank van gietijzer, en 69,88% minder grondstoffen dan een zitbank van tropisch hardhout met een gietijzeren onderstel.

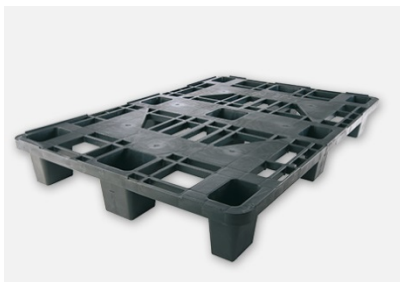
#### 4.1.5.3 Vergelijking van een pallet

Een derde optie voor een productvergelijking op vlak van functionaliteit is een transportpallet. De firma Purus Plastics, gevestigd in Duitsland, maakt door middel van een spuitgietproces plastic pallets van het 80% PE / 20% PP-regranulaat dat door Ecol geproduceerd wordt. Het specifieke product betreft het "Fidus Light 1208" pallet. Vergelijken met een kunststofpallet dat geproduceerd wordt uit virgin materials is niet aan de orde omdat alle industriële spelers ondertussen hun paletten fabriceren uit gerecycleerd polymeer. Deze kunststof paletten zijn gebruiksvriendelijker, omdat ze niet splinteren en lichter zijn. Daarboven hebben ze een minstens even hoge draaglast als hun houten tegenhangers.

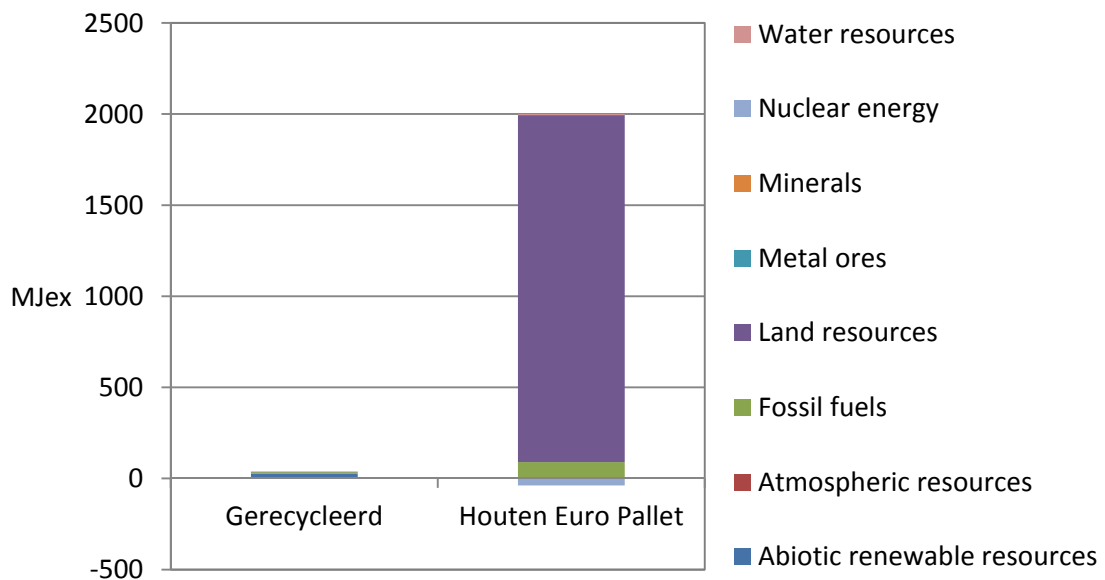
In deze studie wordt de vergelijking gemaakt met een houten euro pallet. De informatie over het euro pallet werd verkregen van de firma De Backer Pallets. De productspecificaties en het uitzicht van de verschillende paletten zijn weergegeven in respectievelijk tabel 4 en figuur 14.

Tabel 4: Productspecificaties van de verschillende paletten.

	Fidus Light 1208 (Ekol)	Houten Pallet (De Backer Pallets)
Dimensies	80cm x 120cm x 15cm	80cm x 120cm x 14,4cm
Gewicht	5,4 kg	25 kg
Compositie	80% PE / 20% PP	Zacht hout / Stalen nagels
Prijs	€ 7,25	€ 8 - 9
Statische draaglast	2,5 ton	1 ton



Figuur 14: Het kunststof pallet “Fidus Light 1208” van Purus Plastics (links) en een houten Euro pallet van De Backer Pallets (rechts).



Figuur 15: Vergelijking van de milieu-impact van het grondstoffenverbruik van een pallet gemaakt uit gerecycleerd PE/PP tegenover een houten Euro Pallet.

In figuur 15 worden de resultaten op vlak van de milieu-impact van de gebruikte grondstoffen weergegeven, evenals die van het productieproces en de *end-of-life disposal*. Informatie over het productieproces van een houten euro pallet werd niet verkregen en is bijgevolg niet inbegrepen in dit onderzoek. Het houten euro pallet wordt verondersteld na de gebruiksfase naar een verbrandingsinstallatie te gaan waarbij er een elektriciteitsgeneratie is van 1,3 MJ/kg verbrand hout. Dit levert een besparing op van 3,99 MJex aan grondstoffen die anders verbruikt worden bij de virgin productie van die elektriciteit.

De milieu-impact van het grondstoffenverbruik van de productie van een pallet uit gerecycleerde kunststof is 37 MJex, die van een houten euro pallet 1969 MJex.

Uit het grondstoffenverbruik van het houten euro pallet blijkt dat er voornamelijk *land resources* worden gebruikt (1904 MJex). Het onderdeel met de meeste impact van het pallet is dan ook het hout. De hoeveelheid *land resources* is een factor 1,76 groter per kg hout dan in de vorige case, waar tropisch hardhout werd gebruikt voor een zitbank. Dit komt omdat er hier sprake is van hout dat onttrokken wordt van een bos dat beheerd wordt door de mens. De CEENE methode berekend de milieu-impact aan de hand van de *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment*. In het geval van een bos beheerd door de mens, wordt net daardoor heel het bos uit de *natural environment* onttrokken en levert dit een hogere milieu-impact. De herkomst van het gebruikte hout is hierbij dus van groot belang.

Verder is ook een kleine negatieve bijdrage (-38 MJex) te zien van *nuclear energy*. Dit is de nucleaire energie van dewelke de opwekking niet meer nodig is door de verbranding van de houten paletten na de gebruiksfase, waarbij energie wordt opgewekt.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat een pallet van gerecycleerde kunststof 98,10% minder grondstoffen verbruikt dan een houten euro pallet.

## 4.2 Galloo

### 4.2.1 Situering en proces

Galloo, een recyclagebedrijf gevestigd in Menen, verwerkt onder meer afgedankte huishoudelijke elektrische en elektronische apparaten. De voornaamste fracties zijn de “TVM” fractie, waaronder televisieschermen en monitoren geklasseerd zijn, de “Groot wit” fractie, waartoe wasmachines, droogkasten ed. behoren en de “OVE” of overige fractie. De “OVE” fractie is de grootste op vlak van jaartonnage (19.420 ton in 2012) en bestaat onder andere uit kleine huishoudelijke toestellen zoals radio’s, stofzuigers en microgolfovens. Deze studie richt zich op de verwerking en recyclage van *Waste Electrical and Electronical Equipment* (WEEE), meer bepaald de *Small Domestic Appliances* (SDA). De verkleinde onderdelen van de elektronische apparaten bevatten verschillende materialen, waarbij in deze studie wordt gefocust op de plastics. Een overzicht van de verdeling van de verschillende materialen op massabasis in de OVE fractie is weergegeven in tabel 5. De twee grootste fracties zijn de *Ferrous* (56,02%) en de *Organics* (30,36%). De *Organics* zijn onderverdeeld in *plastics*, rubber en hout, waar bij de *plastics* een onderverdeling wordt gemaakt tussen recycleerbare (*good*) en niet-recycleerbare (*bad*) *plastics*.

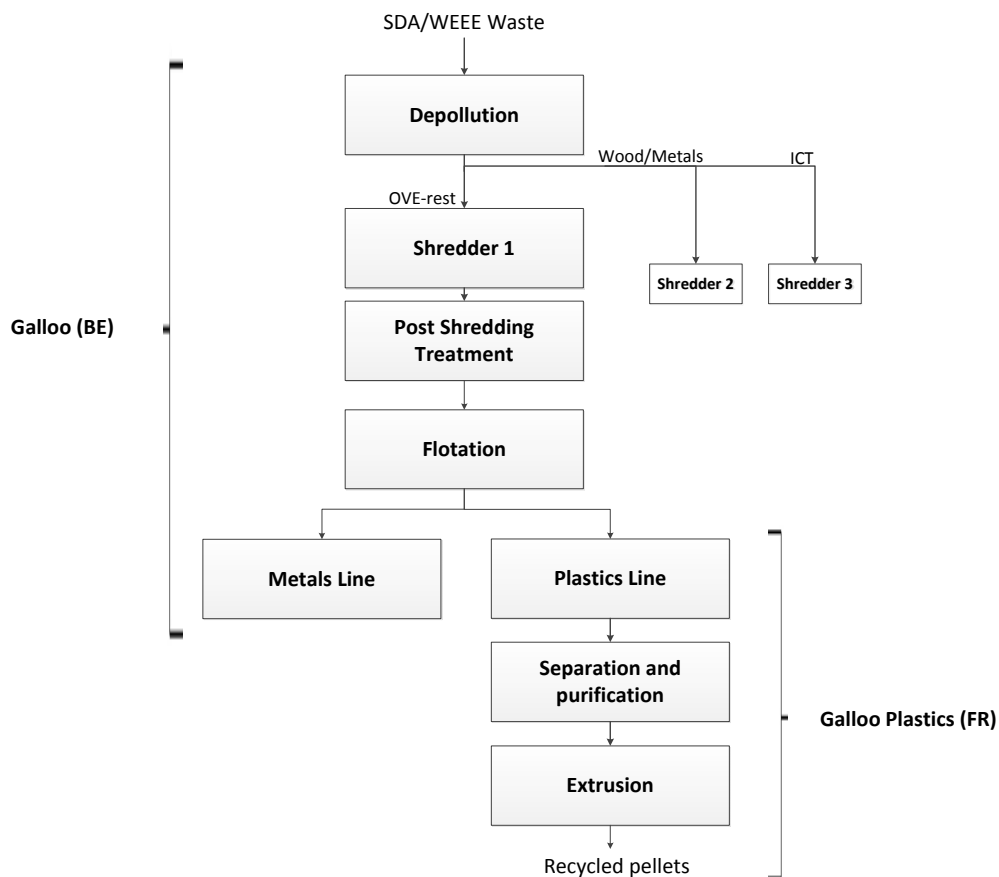
Tabel 5: Verdeling van de verschillende materiaalstromen in Galloo op massabasis in de OVE rest fractie.

Inkomende massa		Bestemming
Organics	30,36%	
Plastics	85,48%	
Good plastics	49,23%	Galloo Plastics (recycling)
Bad plastics	50,77%	6,84% High performance energy recovery 93,16% Landfill and Low performance energy recovery
	<b>100,00%</b>	
Rubber	3,73%	Landfill
Wood	10,79%	Landfill
	<b>100,00%</b>	
Ferrous	56,02%	Full recycling
Aluminium	5,04%	Full recycling
Other non ferrous metals	4,16%	Full recycling
Minerals	4,41%	45,88% Downcycling 54,12% Landfill

Het productieproces is weergegeven in figuur 16. De binnenkomende apparaten worden eerst manueel gesorteerd in de depollutie, waarbij waardevolle onderdelen zoals batterijen en kabels worden afgesplitst. Daarna gaat het materiaal door een *shredder*, waarna hout en metalen worden afgescheiden door middel van flotatie en magnetisme.

De *plastics* worden door middel van flotatie afgesplitst van de andere *Organics*, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen de voor recyclage geschikte *good plastics* en de *bad plastics*. Van de *bad plastics* wordt het gedeelte met de hoogste energiedichtheid afgesplitst en naar Zweden getransporteerd om als energiebron te dienen. De overige *bad plastics* worden in Indaver verwerkt via verbranding of *landfill*. De *good plastics* worden getransporteerd naar Galloo Plastics, een zusterbedrijf gevestigd op dezelfde site net over de grens met Frankrijk, dat voor de verdere recyclage instaat. De andere materiaalstromen worden eveneens gerecycleerd in een nuttige toepassing, maar in deze studie wordt gefocust op de *plastics*.

In Galloo Plastics ondergaan de *plastics* een scheiding op basis van dichtheid om de verschillende polymeertypes van elkaar af te splitsen. Vervolgens vindt een extrusie plaats waarbij gerecycleerd granulaat verkregen wordt. Een schematische voorstelling van het verwerkingsproces van de kleine huishoudelijke elektronische apparaten tot de productie van pellets uit gerecycleerde kunststof is voorgesteld in figuur 16.



Figuur 16: De verwerking van kleine huishoudelijke elektronische apparaten door de Galloo en Galloo Plastics plants in Menen.



Bij de verwerking van de OVE-rest op de Galloo site wordt er naast elektriciteit ook gebruik gemaakt van chemicaliën om de scheiding te faciliteren. Meer bepaald magnetiet en  $\text{CaCO}_3$  worden hiervoor aangewend. De verbruikte grondstoffen voor de recyclage werden bepaald voor de productie van 1 kg gerecycleerde plastic. De hoeveelheid *good plastics* die verloren gaat tijdens het recyclageproces kon niet bepaald worden wegens het heterogene karakter van de inkomende afvalstromen. Er wordt verondersteld dat de verliezen in het recyclageproces van Galloo verwaarloosbaar zijn wat betreft de *good plastics* aangezien dit op basis van dichtheid gescheiden wordt.

Bij de verdere verwerking van de kunststoffen in Galloo Plastics worden er 1,11 kg input uit het Galloo proces verbruikt om 1,00 kg gerecycleerde kunststof te verkrijgen na recyclage. De 0,11 kg afval bedraagt resten van hout, rubber en andere organische onderdelen die nog niet uitgezuiverd waren in een vorige verwerkingsstap. Er is dus 1,11 kg plastic afval input nodig voor de productie van 1 kg gerecycleerde plastic.

De input kunststof is een mix van verschillende polymeren. De gemiddelde percentages van de verschillende polymeren bedragen:

Polystyreen (PS)	50%
Acrylonitrilbutadienestyreen (ABS)	20%
Polyethyleen (PE)	15%
Polypropyleen (PP)	15%

Aangezien enkel informatie beschikbaar was voor de volledige productielijn is er geen onderscheid gemaakt voor de verschillende types kunststof. Er wordt verondersteld dat elk polymeertype volgens hetzelfde percentage gerecycleerd wordt.

#### 4.2.2 Case specifieke methodologie

Het afval dat tijdens het volledige recyclageproces van alle materiaalstromen wordt geproduceerd is op massabasis gealloceerd aan de productie van de *plastics*. Dezelfde methode wordt toegepast voor de allocatie van de *utilities* gebruikt bij het verwerken, zoals elektriciteit en flotatiemiddelen.

De systeemgrenzen van dit proces gaan vanaf de OVE-rest fractie die binnenkomt in de shredder tot en met de productie van de pellets in Galloo plastics. De functionele eenheid is 1 kg gerecycleerde kunststofpellet.

De berekening van de milieu-impact van het recyclageproces wordt gemaakt met behulp van de OpenLCA software ontwikkeld door GreenDelta gecombineerd met de ecoinvent v2.2 database. De methode die gebruikt wordt om de milieupact uit te drukken is de *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment (CEENE)*, uitgedrukt in MJ exergie.

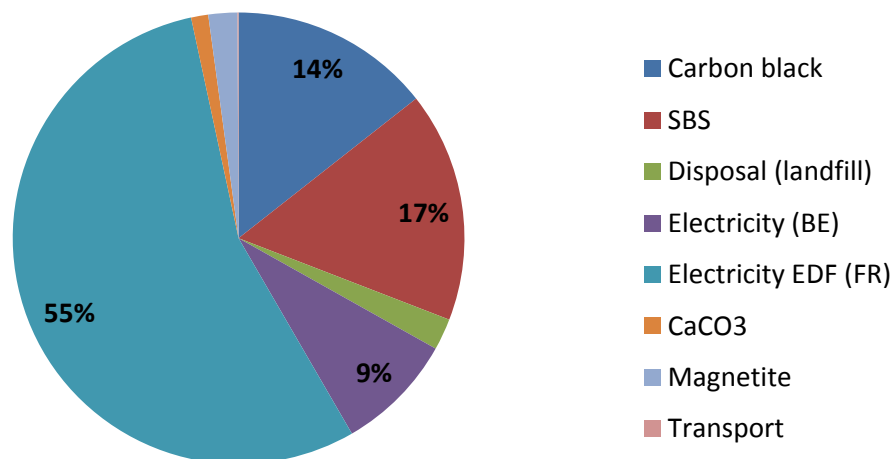
### 4.2.3 Resultaten

Een overzicht van de benodigde grondstoffen voor het produceren van 1 kg gerecycleerde kunststof in Galloo is weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: De benodigde grondstoffen voor de productie van 1 kg gerecycleerde kunststof in Galloo en Galloo Plastics.

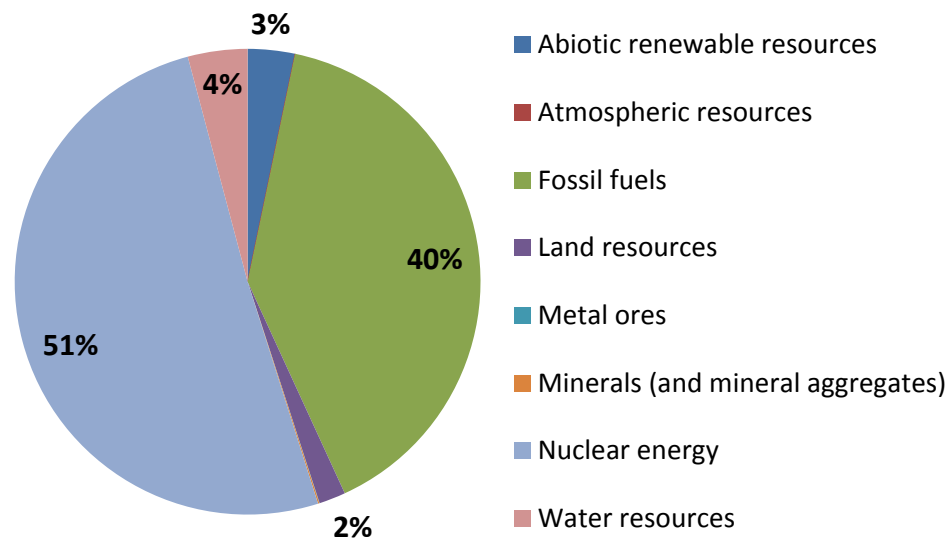
Grondstoffen:	
Plastic afval	1,11 kg
Elektriciteit (BE)	0,0973 kWh
Elektriciteit EDF (FR)	0,628 kWh
Carbon black	0,0200 kg
CaCO <sub>3</sub>	0,0883 kg
Magnetite	0,0138 kg
SBS	0.0300 kg
Transport	0.0023 tkm

De resultaten van het relatieve grondstoffenverbruik van het recyclageproces worden weergegeven in figuur 17.



Figuur 17: Relatief grondstoffenverbruik uitgedrukt in CEENE bij de verwerking van *plastics* in Galloo.

De voornaamste bijdrage aan het grondstoffenverbruik van de verwerking is toe te schrijven aan het elektriciteitsverbruik (64%). Daarnaast zorgen de vulstof styreenbutadieenstyreen (SBS, 17%) en de kleurstof *carbon black* (14%) voor een significante bijdrage. De impact van de *disposal* is toe te schrijven aan de grondstoffen die verbruikt worden bij het verplaatsen van afvalproducten tijdens de productie naar *landfill*.

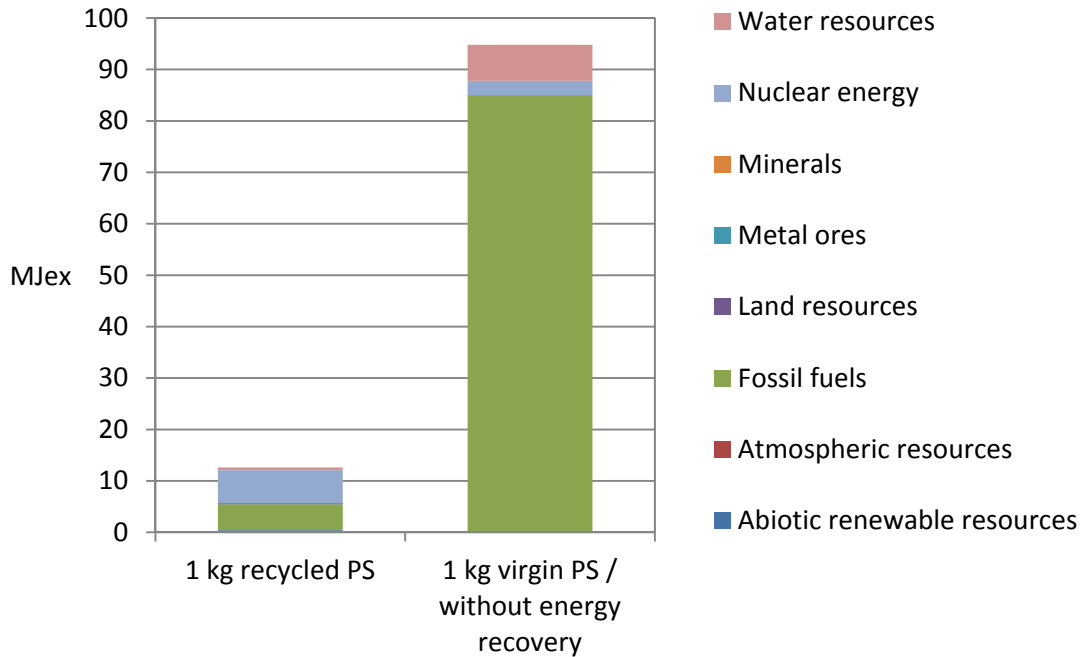


**Figuur 18: Voorstelling van het relatieve grondstoffenverbruik van het recyclageproces uitgedrukt in CEENE.**

In figuur 18 wordt het relatief grondstoffenverbruik van het recyclageproces weergegeven in de grondstoffencategoriën gebruikt in de CEENE methodologie. De voornaamste bijdrage (51%) betreft *nuclear energy*, wat gerelateerd is aan het hoge percentage nucleaire energie in de Franse elektriciteitsmix. De tweede grootste bijdrage betreft de *fossil fuels* (40%), welke het gebruik van elektriciteit en organische stoffen weerspiegelen.

#### 4.2.4 Vergelijking op massabasis

De pellets geproduceerd door Galloo worden eerst vergeleken met virgin pellets louter op basis van massa. Een kg gerecycleerde polystyreen (PS) wordt vergeleken met de virgin productie van 1 kg van hetzelfde materiaal. Bij de resultaten wordt er op vlak van de CEENE een onderverdeling gemaakt voor de verschillende types van grondstoffen: *water resources*, *nuclear energy*, *minerals*, *metal ores*, *land resources*, *fossil fuels*, *atmospheric resources* en *abiotic renewable resources*.

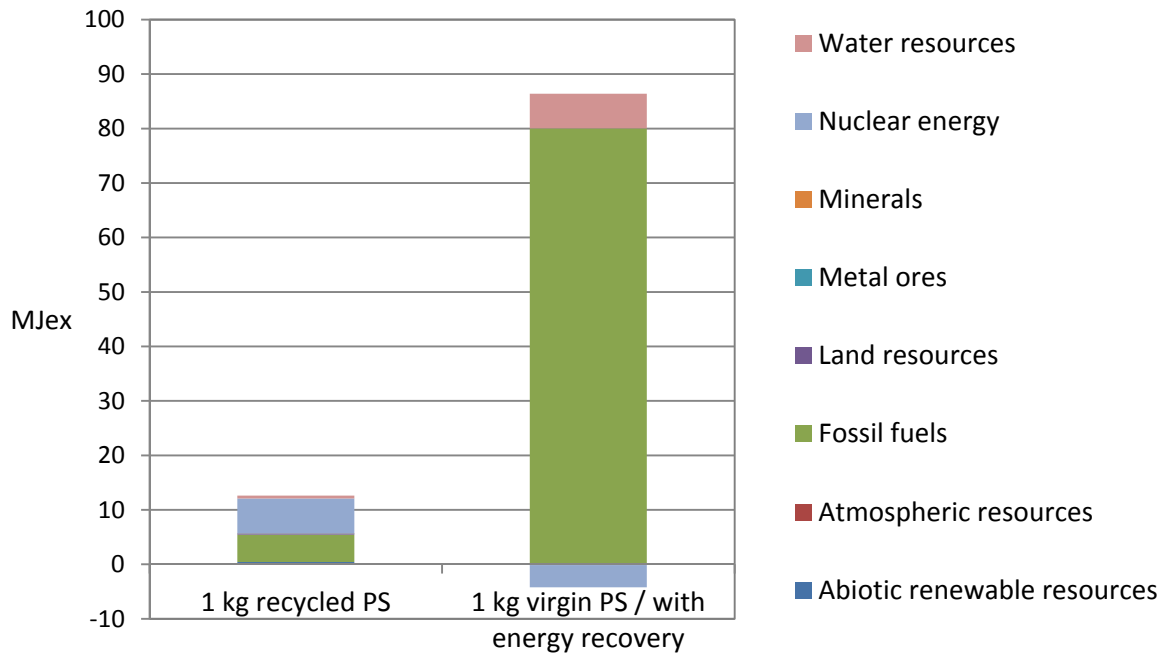


**Figuur 19: Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1kg gerecycleerde pellets (PS) tegenover de virgin productie.**

In figuur 19 worden de resultaten op vlak van de milieu-impact van het recyclageproces en de virgin productie weergegeven. De milieu-impact van het grondstoffenverbruik van de recyclage van 1 kg PS is 12,61 MJex. De twee voornaamste bijdragen tot de milieu-impact zijn de *nuclear energy* (6,40 MJex) en de *fossil fuels* (5,03 MJex). Voor de hoge bijdrage van de *nuclear energy* tot het totale grondstoffenverbruik is het elektriciteitsverbruik verantwoordelijk. De Galloo site maakt geen gebruik van groene energie. Daarnaast is de elektriciteit die gebruikt wordt door Galloo Plastics afkomstig van het Franse net, wat een groot aandeel aan nucleaire energie bevat. De *fossil fuel consumption* is eveneens te wijten aan het elektriciteitsverbruik. Daarnaast zorgt het gebruik van de grondstoffen Carbon Black en SBS, welke beide een oorsprong in de fossiele brandstoffen hebben, voor het overige verbruik.

De milieu-impact van de virgin productie van 1 kg PS is 94,80 MJex. De grootste bijdrage tot het grondstoffenverbruik zijn hier de *fossil fuels* (84,77 MJex). Dit komt omdat polystyreen, als polymeer, gesynthetiseerd wordt uit basisstoffen die uit aardolie gedistilleerd worden.

Om de verbranding van het plastic afval in het geval van virgin productie in rekening te brengen wordt er een deel van de milieu-impact van de virgin pellets afgetrokken. De verbranding van 1 kg plastics levert 4,11 MJ elektriciteit op. Deze waarde is afkomstig van de ecoinvent v2.2 database en gebaseerd op de verbranding van een mengsel van plastics. Het grondstoffenverbruik voor de opwekking van deze elektriciteit omvat een CEENE impact van 12,60 MJex. De milieu-impact van de virgin productie valt hierdoor terug van 94,80 MJex/kg naar 82,20 MJex/kg. De negatieve milieu-impact van de *disposal phase* (transport ed.) wordt hier voor beide processen gelijk verondersteld en dus weggelaten. De resultaten voor de vergelijking op massabasis in het geval van energierecuperatie door opwekking van elektriciteit zijn weergegeven in figuur 20.

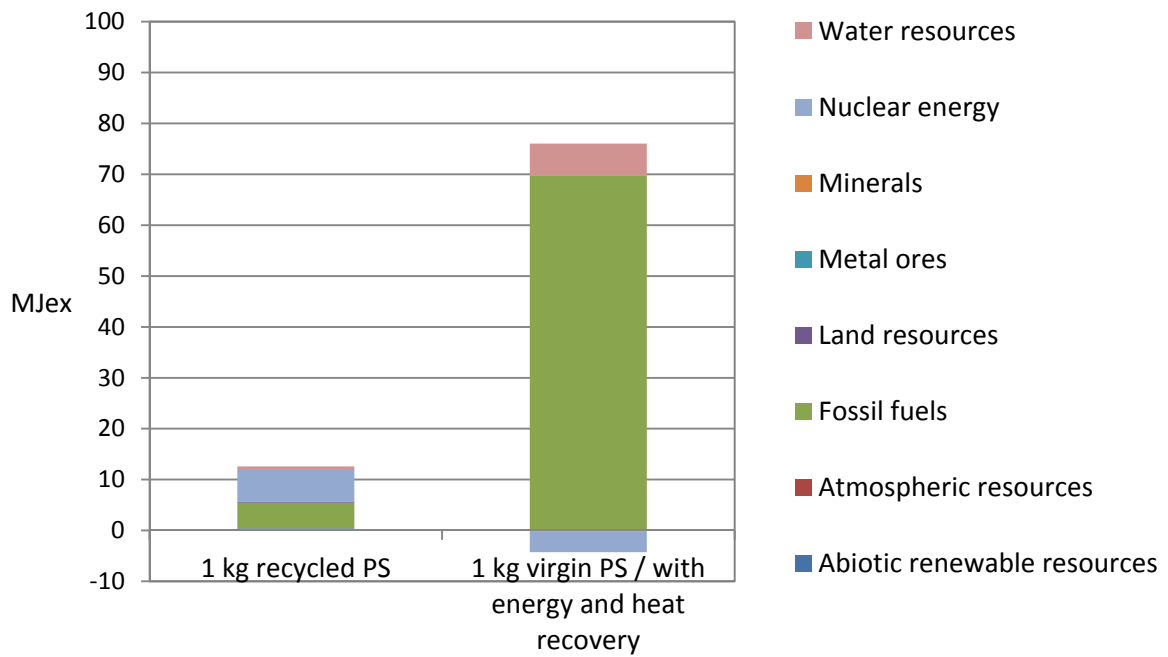


**Figuur 20: Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1 kg gerecycleerde pellets (PS) tegenover de virgin productie in het geval van elektriciteitsproductie door de verbranding van de afgedankte virgin plastics.**

De negatieve bijdrage van de *nuclear energy* in het grondstoffenverbruik is te wijten aan de hoeveelheid elektriciteit die er niet uit nucleaire energie moet opgewekt worden door de verbranding van de kunststoffen.

Indien de warmterecuperatie bij de verbranding ook in rekening wordt gebracht kan de milieu-impact van de virgin productie nog verder verlaagd worden. De verbranding van 1 kg plastics leidt tot een warmtegeneratie van 8,30 MJ. Het grondstoffenverbruik voor de opwekking van deze warmte omvat een CEENE impact van 10,44 MJex. De milieu-impact valt hiermee terug van 82,20 MJex/kg (in het geval van energierecuperatie door elektriciteitsproductie) naar 71,76 MJex/kg (als de warmteproductie ook nuttig gebruikt wordt). De resultaten voor de vergelijking op massabasis in het geval van energierecuperatie door opwekking van elektriciteit en warmtegeneratie zijn weergegeven in figuur 21. In totaal levert de recyclage van 1kg PS pellets dus een besparing van 1.84 (excl. verbranding met heat recovery) tot 1.32 (incl. verbranding met heat recovery) kg olie equivalent op<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> De effectief bespaarde grondstoffen in deze waarde zijn niet enkele fossiele brandstoffen



**Figuur 21:** Vergelijking van het gebruik van natuurlijke grondstoffen uitgedrukt in exergie van 1 kg gerecycleerde pellets (PS) tegenover de virgin productie in het geval van elektriciteit- en warmteproductie door de verbranding van de afgedankte virgin plastics.

Dit komt verder tot uiting in de *recovery benefit rate*. Voor de *recyclability benefit rate* wordt voor de *disposal* in het referentieproces gekozen voor een *landfill* scenario.

Recyclability benefit rate van de vergelijking op massabasis:

$$R'_{cyc,n} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot D_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot (V_{n,i,j} - R_{n,i,j})}{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

massa van het recycleerbare materiaal  $m_{recyc,i,j} = 1$  kg

de massa  $m_{i,j} = 1$  kg

het recyclagepercentage  $RCR_{i,j} = 90,09\%$

de impact van de disposal  $D_{n,i,j} = 0,54$  MJex/kg (dit is de milieu-impact van de afvalverwerkingsmethode van het referentieproces; *landfill*)

de impact van de virgin productie  $V_{n,i,j} = 94,80$  MJex/kg

de impact van het recyclageproces  $R_{n,i,j} = 12,61$  MJex/kg

worden verondersteld.

Dit levert:

$$R'_{cyc,n} = \frac{1kg \cdot 90,09\% \cdot \frac{0,54MJex}{kg} + 1kg \cdot 90,09\% \cdot \left(\frac{94,80MJex}{kg} - \frac{12,61MJex}{kg}\right)}{1kg \cdot \frac{94,80MJex}{kg} + 1kg \cdot \frac{0,54MJex}{kg}} \cdot 100 = \mathbf{78,17\%}$$

Energy recoverability benefit rate van de vergelijking op massabasis:

$$ER_{cov,n} = \frac{(\eta_{el} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot EL_n + (\eta_{heat} \cdot \sum_{i=1}^Q RVR_i \cdot m_{recov,i} \cdot HV_i) \cdot Heat_n - \sum_{i=1}^Q m_{recov,i} \cdot I_{i,n}}{\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

De efficiëntie van de elektriciteitsproductie bij verbranding  $\eta_{el} = 0,3$

het terugwinningspercentage van het voor energierecuperatie geschikte materiaal  $RVR_{i,j} = 100\%$

de verbrande massa  $m_{recov,i,j} = 1$  kg (waarbij dit ook gelijk is aan de totale massa  $m_{i,j}$ )

de *high heating value* van het verbrande materiaal  $HV_i = 42$  MJ/kg

de impact van elektriciteitsproductie in de EU27  $EL_n = 3,066$  MJex/MJ

de impact van de verbranding  $I_{i,n} = 1,06$  MJex/kg

de impact van de disposal  $D_{n,i,j} = 0,54$  MJex/kg (dit is de milieu-impact van de afvalverwerkingsmethode van het referentieproces; *landfill*)

de impact van de virgin productie  $V_{n,i,j} = 94,80$  MJex/kg

worden verondersteld.

De energie efficiëntie van de warmteproductie in de verbrandingsoven  $\eta_{heat}$  en de impact van warmteproductie in de EU27  $Heat_n$  worden er in deze vergelijking uit gelaten omdat er enkel uitgegaan wordt van nuttige elektriciteitsproductie bij de verbranding.

Dit levert:

$$ER_{cov,n} = \frac{\left(0,3 \cdot 100\% \cdot 1kg \cdot \frac{42MJ}{kg}\right) \cdot \frac{3,066MJex}{MJ} - 1kg \cdot \frac{1,06MJex}{kg}}{1kg \cdot \frac{94,80MJex}{kg} + 1kg \cdot 0,54MJex/kg} \cdot 100 = \mathbf{39,41\%}$$



## 4.2.5 Vergelijking op functionaliteit

In tegenstelling tot de andere case, worden de plastics in elektronica steeds in een assemblage met andere materialen gebruikt. Daarom werd in deze studie gefocust op een stofzuiger geproduceerd uit virgin plastics tegenover een stofzuiger die uit gerecycleerde plastics gemaakt wordt. Er wordt gesteld dat de gerecycleerde materialen die door Galloo geproduceerd worden even performant zijn als virgin materialen, dus er moet geen correctie voor de massa doorgevoerd worden waarbij er meer gerecycleerd materiaal zou nodig zijn om dezelfde prestaties te leveren. De gemiddelde samenstelling van een *Commercial Canister* stofzuiger is weergegeven in tabel 8 (AEA Energy & Environment, 2009).

Tabel 7: Gemiddelde samenstelling van een *Commercial Canister* stofzuiger.

Materiaal:	
Bulk Plastics	5880 g
Ferro	1450 g
Non-ferro	2250 g
Miscellaneous	1585 g
<b>Total</b>	<b>11165 g</b>

De *bulk plastics* bestaan voornamelijk uit drie polymeren: acrylonitrilbutadienstyreen (ABS), polystyreen (PS) en polypropyleen (PP). Er wordt verondersteld dat elk polymeer een derde van het gewicht aan *bulk plastics* representeert. De *non-ferro* fractie wordt verondersteld koper te zijn. De *miscellaneous* fractie omvat de kartonnen verpakking, de papieren handleiding, en andere onderdelen die niet toe te wijzen zijn aan de eerste drie fracties. Deze worden in deze productvergelijking niet in rekening genomen.

De stofzuiger die uit virgin plastics gemaakt is, wordt vergeleken met een stofzuiger die geproduceerd is uit gerecycleerde plastics. Aangezien de *ferro* en *non-ferro* fracties in alle door de industrie geproduceerde producten deels bestaan uit gerecycleerde materialen, kan in deze studie niet vertrokken worden van een stofzuiger uit virgin materiaal waarbij de *ferro* en *non-ferro* fracties als volledig virgin verondersteld worden. Er wordt verondersteld dat de gebruikte *ferro* fractie voor 35% uit gerecycleerd materiaal bestaat en voor 65% uit virgin materiaal. Dit komt overeen met de gemiddelde industriële productiemix (Classen *et al.*, 2009). Deze verhouding geldt voor de *ferro* fractie van zowel de stofzuiger uit virgin materiaal als die uit gerecycleerd materiaal. De *non-ferro* fractie wordt verondersteld voor 44% uit gerecycleerd materiaal en voor 56% uit virgin materiaal te bestaan. Deze verhouding geldt eveneens voor zowel de stofzuiger uit virgin materiaal als die uit gerecycleerd materiaal (Classen *et al.*, 2009). Voor impact van de recyclageprocessen die nodig zijn

voor het verkrijgen van de 35% gerecycleerde producten in de *ferro* fractie en de 44% gerecycleerde producten in de *non-ferro* fractie wordt een Europees gemiddelde verondersteld. Dit is niet de impact van de Galloo processen voor de recyclage van *ferro* en *non-ferro* materiaalstromen.

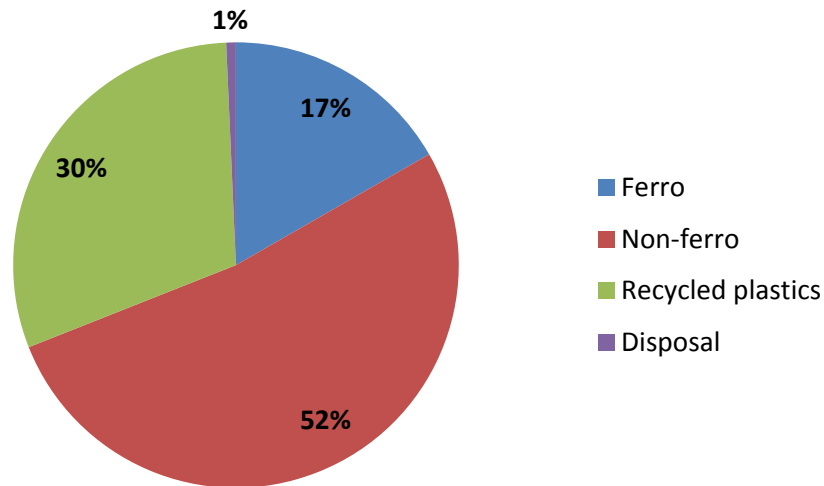
Op vlak van de *plastics* wordt verondersteld dat de plastics in de stofzuiger uit virgin materiaal volledig virgin van oorsprong zijn en de plastics in de andere stofzuiger volledig gerecycleerd van oorsprong zijn. Vervolgens wordt gekeken wat het effect is op vlak van het grondstoffengebruik nodig voor de productie van beide stofzuigers. De samenstelling van de stofzuiger uit virgin materiaal en de stofzuiger uit deels gerecycleerd materiaal worden weergegeven in tabel 9.

Enkel de productie van de onderdelen wordt hier in rekening genomen. Het assembleren van de stofzuiger valt buiten de scope van deze studie (mede door gebrek aan data over stofzuigerproductie). De relatieve bijdragen tot het grondstoffenverbruik van de productie van de verschillende onderdelen in het geval van een stofzuiger geproduceerd uit gerecycleerde plastics zijn weergegeven in figuur 22.

**Tabel 8: Productvergelijking van een stofzuiger die uit virgin materiaal gemaakt is en een stofzuiger die gedeeltelijk uit gerecycleerd materiaal bestaat.**

	<b>Stofzuiger 1 (virgin plastics)</b>		<b>Stofzuiger 2 (gerecycleerde plastics)</b>	
ABS	1960 g	virgin	1960 g	gerecycleerd
PS	1960 g	virgin	1960 g	gerecycleerd
PP	1960 g	virgin	1960 g	gerecycleerd
Ferro	1450 g	productiemix	1450 g	productiemix
Non-ferro	2250 g	productiemix	2250 g	productiemix
<b>Total</b>	<b>9580 g</b>		<b>9580 g</b>	

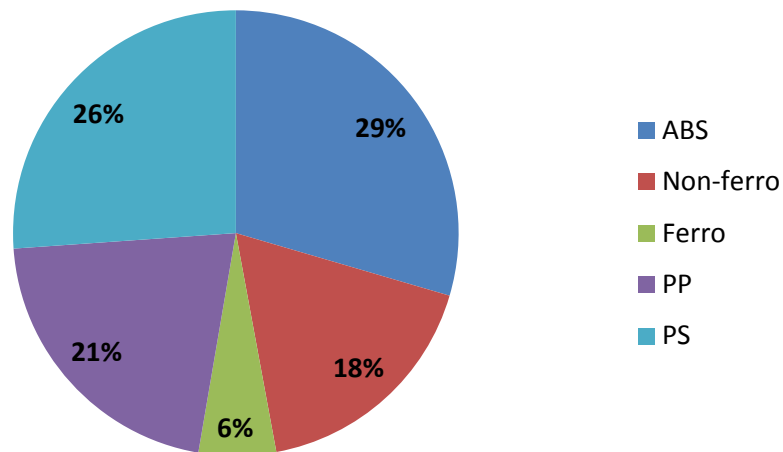
Het grondstoffenverbruik (CEENE) van een *Commercial Canister* uit gerecycleerde plastics is weergegeven in figuur 22.



**Figuur 22: Relatief grondstoffenverbruik uitgedrukt in CEENE bij de productie van de verschillende onderdelen van een *Commercial Canister* uit gerecycleerde plastics.**

Bij de productie van de materialen voor een *Commercial Canister* uit gerecycleerde plastics kan het grootste aandeel van het grondstoffenverbruik toegewezen worden aan de virgin materialen. De *non-ferro* en de *ferro* fracties zijn verantwoordelijk voor respectievelijk 52% en 17% van het grondstoffenverbruik. Alle gerecycleerde plastics tezamen zorgen voor 30% van de grondstoffenconsumptie. De *disposal* of verwerking van afvalproducten bij het recyclageproces vertegenwoordigt 1% van het grondstoffenverbruik.

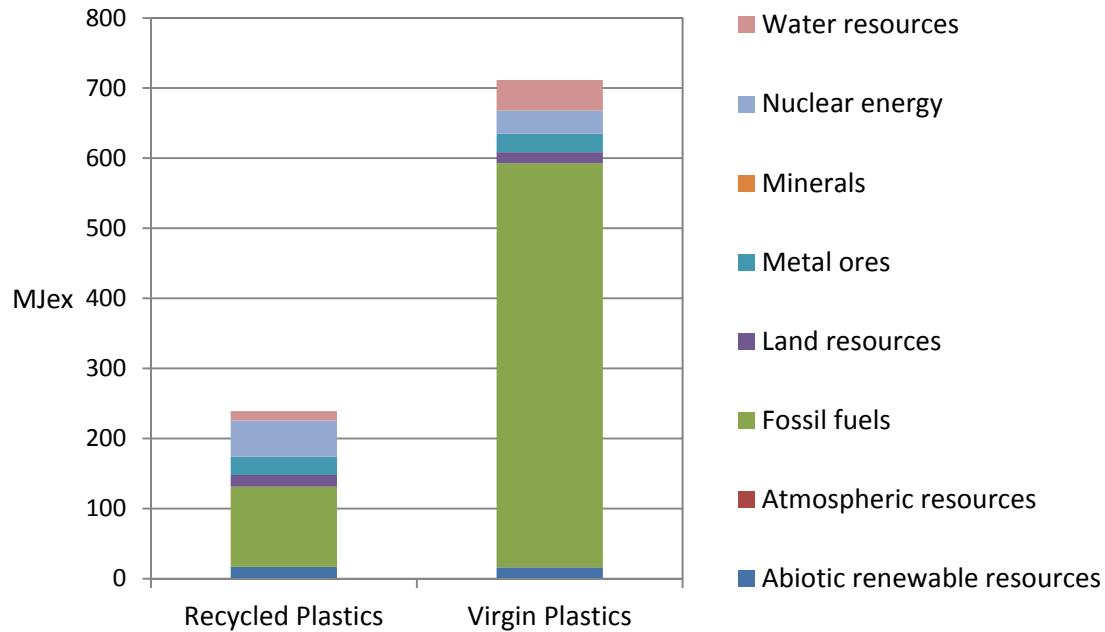
De relatieve bijdragen van de productie van de verschillende onderdelen van een stofzuiger geproduceerd uit *virgin plastics* en ferro en non-ferro fracties volgens de recyclagepercentages van de gemiddelde Europese productiemix zijn weergegeven in figuur 23.



**Figuur 23: Relatief grondstoffenverbruik uitgedrukt in CEENE bij de productie van de verschillende onderdelen van een *Commercial Canister* uit virgin plastics.**

Bij de productie van de materialen voor een *Commercial Canister* uit virgin plastics kan het grootste aandeel van het grondstoffenverbruik toegewezen worden aan de kunststoffen. De kunststoffen ABS, PS en PP zorgen voor respectievelijk 29%, 26% en 21% van het grondstoffenverbruik. Van het overige grondstoffenverbruik kan 18% toegeschreven worden aan de non-ferro metalen, en 6% aan de ferro metalen.

De milieu-impact van het grondstoffenverbruik voor de productie van beide stofzuigers is weergegeven in figuur 24.



**Figuur 24: Vergelijking van de milieu-impact van het grondstoffenverbruik van een *Commercial Canister* gemaakt uit gerecycleerde plastics tegenover een *Commercial Canister* gemaakt uit virgin plastics.**

Het totale grondstoffenverbruik van de materialen die gebruikt worden voor de twee types *Commercial Canister* is 239 MJex in het geval van een stofzuiger uit gerecycleerde plastics en 712 MJex in het geval van een stofzuiger uit virgin plastics. Bij beide stofzuigers is er geen energierecuperatie door verbranding inbegrepen aangezien er wordt verondersteld dat beide stofzuigers op het einde van hun levensfase terug door Galloo zullen verwerkt worden. De grootste milieu-impact bij beide productieprocessen is toe te schrijven aan de *fossil fuels*, respectievelijk 114 MJex bij de stofzuiger uit gerecycleerde plastics en 577 MJex bij een stofzuiger uit virgin plastics. Dit komt door het grote aandeel van de kunststoffen op massabasis en hun oorsprong in de aardolie-sector. Het grote aandeel aan *nuclear energy* (51 MJex) bij de productie van een stofzuiger uit gerecycleerde plastics is toe te schrijven aan het hoge elektriciteitsverbruik tijdens het recyclageproces.

Bij deze productvergelijking kan wel gebruik gemaakt worden van de *recyclability benefit rate*, aangezien het de recyclage van materialen betreft die terug gebruikt worden in hetzelfde product. Er wordt verondersteld dat de stofzuiger op het einde van de levensduur door Galloo gerecycleerd wordt. De gerecycleerde materialen worden terug voor dezelfde toepassing, een stofzuiger, gebruikt. Er wordt verondersteld dat de gerecycleerde materialen even performant zijn als virgin materialen. De impact van het recyclageproces van *plastics* is reeds eerder besproken. De impact van het recyclageproces van de *ferro* en *non-ferro* fracties bedraagt 1,71 MJex/kg. Dit is lager dan het recyclageproces van *plastics*, omdat de *ferro* en *non-ferro* fracties minder processen doorlopen voor de recyclage.

Recyclability benefit rate van een stofzuiger:

$$R'_{cyc,n} = \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot D_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{recyc,i,j} \cdot RCR_{i,j} \cdot (V_{n,i,j} - R_{n,i,j})}{\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot V_{n,i,j} + \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^N m_{i,j} \cdot D_{n,i,j}} \cdot 100$$

Waarbij,

massa van het recycleerbare materiaal $m_{recyc,i,j} = m_{i,j} =$	1,96 kg ABS 1,96 kg PS 1,96 kg PP 1,45 kg Ferro 2,25 kg Non-ferro
het recyclagepercentage $RCR_{i,j} =$	90,09% voor ABS, PS en PP 100,00% voor Ferro en Non-ferro
de impact van de disposal $D_{n,i,j} =$	0,54 MJex/kg bij <i>plastics (landfill)</i> 0,24 MJex/kg bij Ferro en Non-ferro (inert material landfill)
de impact van de virgin productie $V_{n,i,j} =$	107,21 MJex/kg voor ABS 94,80 MJex/kg voor PS 76,93 MJex/kg voor PP 27,56 MJex/kg voor Ferro 55,52 MJex/kg voor Non-ferro
de impact van het recyclageproces $R_{n,i,j} =$	12,61 MJex/kg voor plastics 1,71 MJex/kg voor de Ferro en Non-ferro fracties

worden verondersteld.

Dit levert:

$$\begin{aligned}
 & 3 \cdot 1,96kg \cdot 90,09\% \cdot \frac{0,54MJex}{kg} + (1,45kg + 2,25kg) \cdot 100\% \cdot \frac{0,24MJex}{kg} \\
 & + 1,96kg \cdot 90,09\% \cdot \left( \left( \frac{107,21 + 94,80 + 76,93MJex}{kg} \right) - \left( \frac{3 \cdot 12,61MJex}{kg} \right) \right) + 1,45kg \cdot 100\% \cdot \left( \frac{27,56MJex}{kg} - \frac{1,71MJex}{kg} \right) + 2,25kg \cdot 100\% \cdot \left( \frac{55,52MJex}{kg} - \frac{1,71MJex}{kg} \right) \\
 R'_{cyc,n} = & \frac{\phantom{3 \cdot 1,96kg \cdot 90,09\% \cdot \frac{0,54MJex}{kg} + (1,45kg + 2,25kg) \cdot 100\% \cdot \frac{0,24MJex}{kg}}}{1,96kg \cdot \left( \frac{107,21MJex}{kg} + \frac{94,80MJex}{kg} + \frac{76,93MJex}{kg} \right) + 1,45kg \cdot \frac{27,56MJex}{kg} + 2,25kg \cdot \frac{55,52MJex}{kg} + 3 \cdot 1,96kg \cdot \frac{0,54MJex}{kg} + (1,45kg + 2,25kg) \cdot \frac{0,24MJex}{kg}} \cdot 100 = \mathbf{82,17\%}
 \end{aligned}$$

## 5 Besluit

In deze studie werden indicatoren besproken die de het recyclage- en energierecuperatiepotentieel kunnen uitdrukken: de *recyclability benefit rate* en de *energy recoverability benefit rate*. Deze indicatoren werden getest op twee verschillende case studies, die betrekking hadden op het recyclageproces van twee recyclagebedrijven, Galloo en Ekol. De gerecycleerde producten van Ekol en Galloo werden op massabasis en op functionaliteit vergeleken met virgin producten volgens de indicator *Cumulative Exergy Extracted from the Natural Environment*.

Het recyclageproduct van Ekol werd op massabasis vergeleken met een virgin product van dezelfde samenstelling. Het recyclageproduct heeft een *recyclability benefit rate* van 72,89% en een *energy recoverability benefit rate* van 46,58%. Verder werden drie producten die gemaakt waren van het recyclageproduct vergeleken met dezelfde producten die gemaakt waren van andere materialen. In het geval van een plantenbak verbruikt het product van Ekol 51,49% minder grondstoffen dan een plantenbak van polyester en 65,12% minder grondstoffen dan een plantenbak van polymerebeton. In het geval van een zitbank verbruikt het product van Ekol 61,98% minder grondstoffen dan een gietijzeren zitbank en 69,88% minder grondstoffen dan een zitbank van tropisch hardhout met een gietijzeren onderstel. In het geval van een transportpallet verbruikt het product van Ekol 98,10% minder grondstoffen dan een klassiek euro pallet.

Het recyclageproduct van Galloo werd op massabasis vergeleken met een virgin product van dezelfde samenstelling. Het recyclageproduct heeft een *recyclability benefit rate* van 78,17% en een *energy recoverability benefit rate* van 39,41%. Verder werden twee stofzuigers van dezelfde samenstelling met elkaar vergeleken. De eerste stofzuiger is uit virgin plastics materiaal gefabriceerd. De tweede stofzuiger is uit gerecycleerde plastics gefabriceerd. De *recyclability benefit rate* van de beschouwde stofzuiger uit virgin materiaal die door Galloo processen gerecycleerd zou worden is 82,17%.

Uit deze cases blijkt de productie van gerecycleerde producten een lagere milieu-impact te hebben dan de productie van virgin producten. We zien hierbij niet enkel een afname van absolute hoeveelheid grondstoffen voor dezelfde service, we zien ook een verschuiving van type grondstoffen. Vooral een lager gebruik van fossiele brandstoffen komt naar voor. Dit wordt nog versterkt wanneer het recyclageproces gebruikt maakt van hernieuwbare energie en het gebruik van fossiele grondstoffen tot een minimum herleid wordt. Bovendien kunnen de gerecycleerde kunststoffen ook in applicaties gebruikt worden waarin ze andere materialen vervangen waardoor bijvoorbeeld metaalontginning of landgebruik (bijvoorbeeld in de case van het transportpallet) kan vermeden worden. Op basis van de resultaten uit deze studie kunnen we bovendien besluiten dat een efficiënte recyclage het potentieel heeft om de afhankelijkheid van (vaak geïmporteerde) virgin grondstoffen voor Vlaanderen te verminderen met meer dan 80% in de gekozen applicaties, zeker wanneer we naast materiaalrecyclage tegelijkertijd mikken op een hernieuwbare energiemix voor de recyclageprocessen.

De *recyclability benefit rate* en *energy recoverability benefit rate* indicatoren die in deze studie gebruikt werden zijn goede indicatoren voor producten die gerecycleerd worden en opnieuw een



toepassing vinden in hetzelfde product. Belangrijk is dat ze een uniform framework bieden om informatie te leveren over de milieuproductie van afval management, met onder andere de keuze van een vaste referentie (disposal). Hierdoor kunnen ze eenvoudiger in het beleid opgenomen worden. Deze vaste referentie is echter meer problematisch wanneer het gaat over downcycling en de materialen in andere levenscycli terecht komen. In dit geval zijn deze indicatoren niet direct toepasbaar doordat er meerdere referentiescenario's zijn van de verschillende levenscycli. Het verder ontwikkelen van deze indicatoren is dus een interessante toekomstige onderzoekspiste.

Andere verdere onderzoekspistes zijn om meer rekening te houden met de kwaliteit en de levensduur van de producten. Bovendien is het grondstoffenverbruik van de recyclage gebaseerd op het verbruik van de on-site processen van de recyclagebedrijven. Hierbij werd nog geen rekening gehouden met de ophaling en voorsorteringsprocessen die inherent zijn aan recyclageproducten. Het in kaart brengen van mogelijke verliezen van materialen en het grondstoffenverbruik van deze stappen kan bijdragen tot een verder inzicht in de milieuproductie van recyclageprocessen.

## 6 Bibliografie

AEA Energy & Environment, I. (2009). Work on Preparatory Studies for Eco-Design: Requirements of EuPs (II) Lot 17 Vacuum Cleaners. Final Report.

Ardente, F. and Mathieux, F. (2012). Integration of resource efficiency and waste management criteria in European product policies - Second phase, Joint Research Centre.

Classen, M., Althaus, H., Blaser, S., Scharnhorst, W., Tuchschnid, M., Jungbluth, N. and Emmenegger, M. (2009). EcoInvent v2.1 report No 10: Life Cycle Inventories of Metals. Dübendorf.

Hopewell, J., Dvorak, R. and Kosior, E. (2009). "Plastics recycling: challenges and opportunities." Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences **364**(1526): 2115-2126.

Mudgal, S., Lyons, L. and Kong, M. A. (2013). Study on an increased mechanical recycling target for plastics, Plastics Recyclers Europe.

PlasticsEurope (2012). Plastics - The facts 2012 An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2011.

Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. and Lugo, A. E. (1992). Wood densities of tropical tree species. New Orleans, Louisiana.

vreg (2013). Rapport van de Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt.